



ATLAS NACIONAL DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO México



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO

Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático



ATLAS NACIONAL DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO México



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO

Directora del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

DRA. MARÍA AMPARO MARTÍNEZ ARROYO

Coordinadora General de Adaptación al Cambio Climático

DRA. MARGARITA CASO CHÁVEZ

Director de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al Cambio Climático con Enfoque de Cuenca

MTRO. DANIEL IURA GONZÁLEZ TERRAZAS

Primera edición: 2019

AUTORES:

Daniel Iura González Terrazas, Anaïs Vermonden Thibodeau,
Raquel Teresa Montes Rojas, Yusif Salib Nava Assad,
Fanny López Díaz, Fabiola Gress Carrasco, Marcia Rojas Barajas,
Marco Antonio Linares Munguía, José Machorro Reyes y
Carlos Enríquez Guadarrama.

CONTACTO:

atlas.vulnerabilidad@inecc.gob.mx, daniel.iura@inecc.gob.mx,
anais.vermonden@inecc.gob.mx, yusif.nava@inecc.gob.mx

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209, Col. Jardines en la Montaña, Alcaldía Tlalpan

C.P. 14210 Ciudad de México, México

<https://www.gob.mx/inecc>

DISEÑO: Quinta del Agua Ediciones

Hecho en México • Made in Mexico.

Forma de Citar el Atlas:

INECC. 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf

Índice

Prólogo	10
1. Antecedentes	12
Cambio climático global	13
Cambio climático en México	14
Adaptación al cambio climático	14
Evaluación de la vulnerabilidad en el contexto de la adaptación	15
2. Introducción	18
Objetivo	20
Alcance	20
3. Construcción del ANVCC. Metodología	22
Proceso participativo	23
Identificación de problemáticas relacionadas con amenazas climáticas	24
Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático	26
4. Integración del ANVCC	28
Indicadores de exposición actual	29
Indicadores de exposición futura	29
Indicadores de sensibilidad	29
Indicadores de capacidad adaptativa	30
Referencias capítulos 1 a 4	31
5. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones	32
Ficha técnica	33
Configuración de índices	34
Exposición	35
Sensibilidad	39
Capacidad adaptativa	45
Referencias	53
6. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves	56
Ficha técnica	57
Configuración de índices	58
Exposición	59
Sensibilidad	63
Capacidad adaptativa	66
Referencias	73

7. Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue	76
Ficha técnica	77
Configuración de índices	79
Exposición.....	80
Sensibilidad	83
Capacidad adaptativa.....	89
Referencias.....	99
8. Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico	104
Ficha técnica	105
Configuración de índices	107
Exposición.....	108
Sensibilidad	112
Capacidad adaptativa.....	127
Referencias.....	136
9. Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico	140
Ficha técnica	141
Configuración de índices	143
Exposición.....	144
Sensibilidad	148
Capacidad adaptativa.....	162
Referencias.....	171
10. Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones	176
Ficha técnica	177
Configuración de índices	178
Exposición.....	179
Sensibilidad	183
Capacidad adaptativa.....	198
Referencias.....	208
11. Cambio de distribución potencial actual de especies prioritarias y en la NOM-059	212
Ficha técnica	213
Método	213
Cambio a condiciones no análogas de la distribución potencial de especies a nivel nacional.....	214
Cambio a condiciones no análogas de la distribución potencial de especies en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México	214
Referencias	217
Acrónimos	218
Colaboración	220
Agradecimientos	220

Índice de mapas y figuras

Figura 1.1.	Impactos proyectados del cambio climático en México	15
Figura 3.1.	Preguntas rectoras para la identificación de la problemática en el ANVCC	23
Figura 3.2.	Participantes de los talleres	24
Figura 3.3.	Amenazas climáticas identificadas	25
Figura 3.4.	Temas focales y dependencias asociadas que conformaron los grupos de trabajo	26
Figura 3.5.	Vulnerabilidades analizadas en la primera etapa del ANVCC	27
Figura 3.6.	Marco conceptual del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático	27
Figura 4.1.	Proceso de construcción de las vulnerabilidades al cambio climático en el ANVCC	30
Mapa 5.1.	Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones	52
Mapa 6.1.	Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves	72
Mapa 7.1.	Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue	98
Mapa 8.1.	Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico	135
Mapa 9.1.	Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico	170
Mapa 10.1.	Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones	207
Figura 11.1.	Combinación de modelos para la elaboración de mapas de condiciones análogas y no análogas para cada especie	214
Figura 11.2.	Porcentaje de especies agrupadas en condiciones no análogas por categoría de cambio	215
Figura 11.3.	Componentes del índice de cambio a condiciones no análogas de distribución potencial de las especies en las ANP	216
Figura 11.4.	Índice de cambio a condiciones no análogas en la distribución potencial de las especies en las ANP de México	216



ATLAS NACIONAL
DE VULNERABILIDAD
AL CAMBIO CLIMÁTICO
México

Prólogo





México es particularmente vulnerable al cambio climático por su posición geográfica y las condiciones socio-económicas de su población. Por esto, en un contexto de incertidumbre climática, es prioritario seguir consolidando los procesos de adaptación ante las amenazas que enfrentan la población, las actividades económicas, la infraestructura y el sistema natural. El análisis de la vulnerabilidad es el primer paso en el proceso de adaptación al cambio climático; permite identificar cuáles son las principales amenazas climáticas en el territorio, los problemas relacionados con éstas y sobre todo determinar las causas subyacentes que pueden incrementar los impactos en la sociedad.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) propone una forma de evaluar la vulnerabilidad al cambio climático, con miras a construir una visión común en el país. Este esfuerzo, realizado en coordinación con otras dependencias de la Administración Pública Federal, se materializa en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), que en esta primera etapa muestra la vulnerabilidad actual y futura de los municipios de México ante deslaves, inundaciones y estrés hídrico, y lo más importante, muestra las causas subyacentes que hacen vulnerable

a la población y a las actividades económicas de los municipios.

Adicionalmente, esta herramienta da recomendaciones explícitas sobre cómo aumentar la capacidad adaptativa y disminuir la sensibilidad ante amenazas relacionadas con el clima, en la actualidad y en un contexto de cambio climático. También, sin ser menos importante, el ANVCC aborda el componente del sistema natural, aportando información sobre el cambio en la distribución potencial de especies prioritarias o en condición de riesgo en las Áreas Naturales Protegidas Federales del país.

Es importante señalar que por su naturaleza, el ANVCC estará en constante actualización para incorporar nuevas temáticas, nueva información y avances nacionales en materia de evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.

La publicación de esta herramienta facilita la toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático y contribuye a que México avance, con paso firme, al cumplimiento de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas derivadas del Acuerdo de París.



ATLAS NACIONAL
DE VULNERABILIDAD
AL CAMBIO CLIMÁTICO
México

1 Antecedentes





Cambio climático global

En el Quinto Reporte de Evaluación, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se concluyó que el calentamiento del planeta es inequívoco (IPCC, 2014). En este reporte se afirma que los fenómenos, como el calentamiento de la atmósfera y los océanos, la reducción de las superficies cubiertas con hielo y nieve, y el aumento del nivel del mar observados desde la década de los cincuenta a la fecha, no se habían presentado en varios miles de años. La principal causa de los mismos, se relaciona con las actividades humanas (PECC, 2014).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”, así la CMNUCC diferencia, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2014).

De acuerdo con el IPCC (2014), en los últimos decenios los cambios en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. En muchas regiones las variaciones en la precipitación y la temperatura están alterando los sistemas hi-

drológicos, lo que afecta a los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad, así como la distribución de algunas enfermedades transmitidas por el agua y por vector. Muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, patrones estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies en respuesta a este fenómeno global.

El cambio climático ha afectado negativamente al rendimiento del trigo y el maíz a nivel global y regional, este impacto está relacionado principalmente con la seguridad alimentaria (IPCC, 2014).

Los fenómenos extremos asociados al clima como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones tropicales, entre otros, revelan una vulnerabilidad significativa de algunos ecosistemas y muchos sistemas humanos a la variabilidad climática actual. Entre los impactos de estos eventos se pueden mencionar daños a la infraestructura y a los asentamientos humanos, afectación a las cadenas productivas de alimentos y el suministro de agua, aumento en la morbilidad y mortalidad causadas por enfermedades emergentes, y consecuencias para la salud mental y el bienestar humano. Para los países, independientemente de su nivel de desarrollo, los impactos están en consonancia con una importante falta de preparación para la actual variabilidad climática en algunos sectores (IPCC, 2014).

Cambio climático en México

En el caso de México prevalecen condiciones de alta vulnerabilidad ante el cambio climático, dadas sus características geográficas, como su latitud, relieve y localización entre dos océanos, ya que es impactado por diferentes fenómenos hidrometeorológicos (ENCC, 2013; PECC, 2014).

Los huracanes, sequías, temperaturas extremas y lluvias torrenciales, han ocasionado en el país graves pérdidas humanas y altos costos económicos y sociales entre 1999 y 2011. Esos eventos ponen en riesgo la vida de la población, su bienestar y patrimonio; comprometen la conservación de los ecosistemas, su biodiversidad y los servicios que estos proveen; también limitan las oportunidades de desarrollo en el corto y mediano plazo. Estas y otras consecuencias de los impactos del cambio climático han sido abordadas en diversos estudios científicos y documentos técnicos, en los cuales se sugiere que algunas de las consecuencias negativas de la variabilidad climática (SEMARNAT-INECC, 2012) son ya visibles (Sarukhán *et al.*, 2012) y podrían agravarse durante las próximas décadas. Asimismo, el impacto agregado de los eventos extremos, resultado del cambio climático, puede intensificar otros problemas ambientales y sociales, como el cambio del uso de suelo, la forma y estructura de los asentamientos urbanos, los procesos productivos o el estado de los ecosistemas (SEMARNAT-INECC, 2012).

Se proyecta que los impactos del cambio climático (figura 1.1) se distribuirán de una manera heterogénea en el país, debido a los distintos tipos de clima, la distribución de los recursos

naturales, la infraestructura instalada, el desarrollo económico y la concentración demográfica (Sosa-Rodríguez, 2015).

Adaptación al cambio climático

Ante un clima cambiante y la posibilidad de riesgos climáticos en aumento, la respuesta es la adaptación, la cual ha sido definida por el IPCC (2007) como “las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático”. Por su parte y retomando el concepto, la Ley General de Cambio Climático (LGCC), define adaptación como “las medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos” (DOF, 2012). De acuerdo con el IPCC (2007), existen diferentes tipos de adaptación: preventiva y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada¹.

Se reconoce que la adaptación es un proceso de aprendizaje que requiere ser interdisciplinario, multidimensional y transversal, tomando como eje fundamental las dinámicas territoriales, el conocimiento local y el papel de los

1. IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. Ginebra, Suiza: IPCC, p. 89. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf



Figura 1.1. Impactos proyectados del cambio climático en México.

individuos, las organizaciones de la sociedad civil y el gobierno; que requiere el seguimiento y la revisión constantes de las políticas, planes y acciones (SEMARNAT-INECC, 2012)².

El Grupo de Trabajo II del IPCC en el Quinto informe estableció que el análisis de la vulnerabilidad es prioritario para la reducción de los riesgos actuales y futuros asociados a la variabilidad climática y al cambio climático. Ase-

gura que los impactos actuales por eventos extremos (ondas de calor, sequías, inundaciones, ciclones tropicales, entre otros) han aumentado la vulnerabilidad y exposición de los ecosistemas y las poblaciones humanas a la variabilidad climática (IPCC, 2014).

Evaluación de la vulnerabilidad en el contexto de la adaptación

México ha adoptado la definición de vulnerabilidad al cambio climático del IPCC (2007) y la ha incorporado a su legislación nacional (por ejemplo, en la Ley General de Cambio Climático, LGCC). La vulnerabilidad se define, como el grado en que los sistemas pueden ver-

2. SEMARNAT-INECC (2012). *Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, pp. 24 y 131.

se afectados adversamente por el cambio climático, dependiendo de si éstos son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. De acuerdo a esta definición, la vulnerabilidad no sólo depende de las condiciones climáticas adversas, sino también de la capacidad de la sociedad de anticiparse, enfrentar, resistir y recuperarse de un determinado impacto (PECC, 2014-2018). La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad adaptativa (DOF, 2012).

Por consiguiente la vulnerabilidad de un sistema se define por la siguiente ecuación:

$$V = E + S - CA$$

donde: *V* es la vulnerabilidad; *E*, la exposición; *S*, la sensibilidad; y, *CA* la capacidad adaptativa.

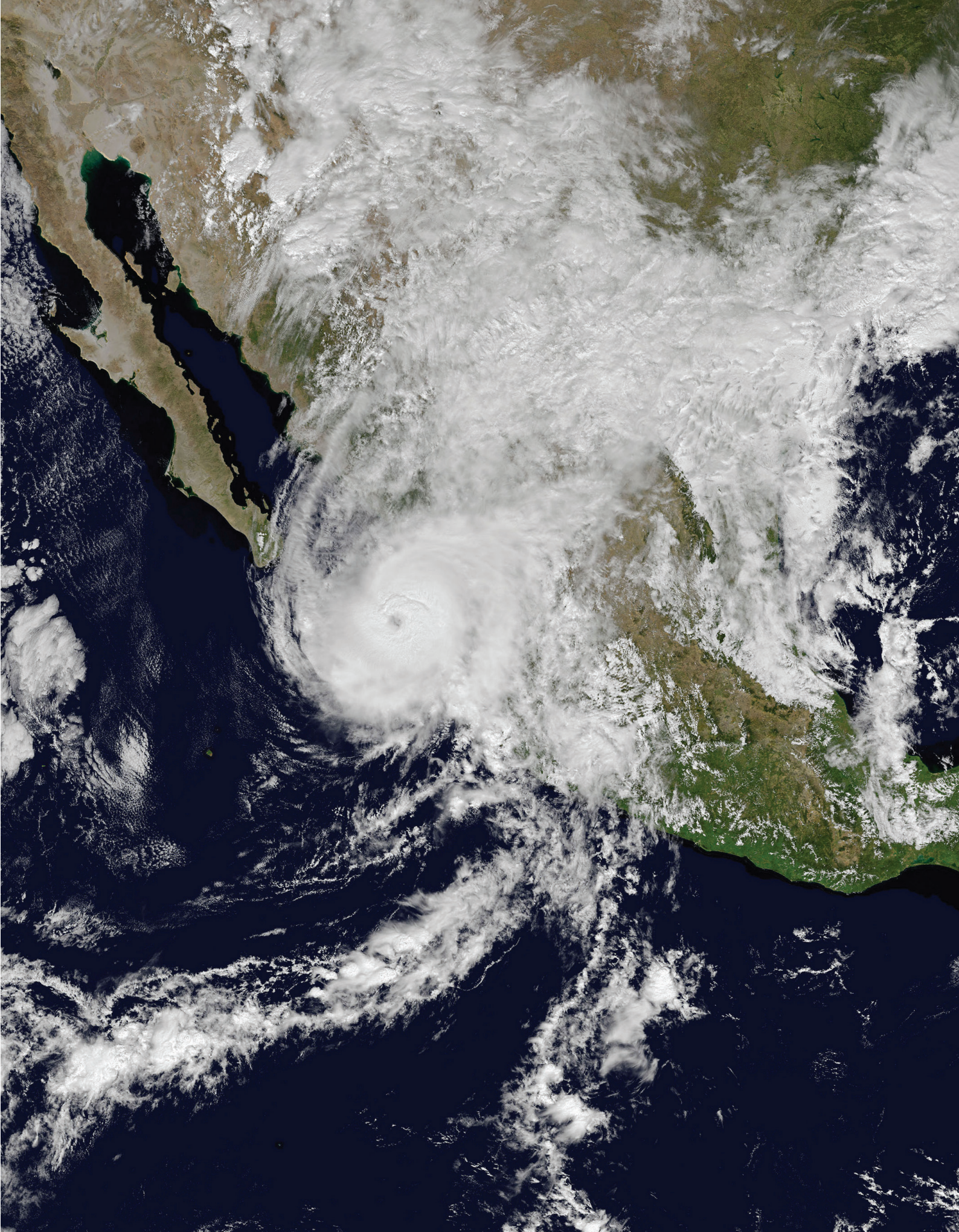
Es así que, para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) se ha guiado bajo el enfoque del IPCC (2007), mismo que se ha retomado en los instrumentos rectores

de la política nacional mexicana en materia de cambio climático: Ley General de Cambio Climático, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40 y Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (SEMARNAT-INECC, 2015).

Dadas las condiciones de vulnerabilidad a los efectos del cambio climático del país, y en el supuesto de que pueden intensificarse dichos impactos, se vuelve prioritario conocer, ubicar y visualizar de manera diferencial las condiciones de vulnerabilidad al cambio climático en las que se encuentran, la población, el sistema natural, la infraestructura y las actividades económicas.

El análisis de la vulnerabilidad, a través de la integración de los componentes de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, permite conocer las causas subyacentes de la vulnerabilidad y es un insumo importante para el análisis de las alternativas de adaptación. También facilita la vinculación del desarrollo local con las respuestas a eventos climáticos³.

3. CEPAL-IAI (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Sánchez, R. (Editor). Santiago de Chile: Naciones Unidas.



2

Introducción





Con el fin de desarrollar, consolidar y modernizar los instrumentos necesarios para el análisis y la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático, el INECC, de conformidad con su Programa Institucional y con el PECC 2014-2018, es la entidad encargada del desarrollo del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC).

El ANVCC es una herramienta para la toma de decisiones e incidencia en política pública, que sirve para identificar las acciones de adaptación que pueden implementarse para disminuir la vulnerabilidad identificada. Además es una guía para dar seguimiento al cumplimiento de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés) del Acuerdo de París en los tres órdenes de gobierno. Resulta una herramienta dinámica y que puede actualizarse con respecto a la nueva información disponible a nivel nacional.

El ANVCC se alinea a la política de cambio climático como sigue:

Estrategia Nacional de Cambio Climático **10-20-40**

Eje estratégico A1. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.

Línea de acción A1.1. Fortalecer la identificación y atención de zonas, asentamientos

y grupos sociales prioritarios para la reducción de la vulnerabilidad y el aumento de resiliencia de los asentamientos humanos en zonas rurales, urbanas y costeras.

Eje estratégico A3. Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.

Línea de acción A3.1. Impulsar la gestión territorial integral para la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático de ecosistemas, considerando el manejo y aprovechamiento sustentable, la protección, la conservación y la restauración; con énfasis en regiones prioritarias y cuencas hidrográficas.

Línea de acción A3.4. Asegurar la inclusión de vulnerabilidad de ecosistemas, comunidades biológicas y especies prioritarias en los atlas de vulnerabilidad ante el cambio climático.

Pilar de la política de cambio climático

P3. Implementar una plataforma de investigación, innovación, desarrollo y adecuación de tecnologías climáticas y fortalecimiento de capacidades institucionales.

Programa Especial de Cambio Climático **(PECC 2014-2018)**

Objetivo 1. Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar

su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica.

Estrategia 1.1

Desarrollar, consolidar y modernizar los instrumentos necesarios para la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Línea de acción 1.1.1

Consolidar el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático.

Objetivo 5. Consolidar la política nacional de cambio climático mediante instrumentos eficaces y en coordinación con entidades federales, municipios, Poder Legislativo y sociedad.

Estrategia 5.2

Desarrollar e implementar instrumentos para consolidar la política nacional de cambio climático.

Línea de acción 5.2.6

Identificar municipios y grupos sociales más vulnerables al cambio climático.

Contribución Nacionalmente Determinada (NDC)

México incluyó un componente de adaptación con compromisos no condicionados y condicionados al 2030. La prioridad de estas acciones es proteger a la población de los efectos del cambio climático y, de manera paralela, aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica del país y de los ecosistemas que albergan nuestra biodiversidad y nos proveen de importantes servicios ambientales. El ANVCC contribuye en las acciones de adaptación para el periodo 2020-2030 (SEMARNAT, 2015):

1. Adaptación del sector social.
2. Adaptación basada en ecosistemas.
3. Adaptación de la infraestructura estratégica y de los sistemas productivos.
4. Desarrollo de capacidades, transferencia de tecnología y financiamiento para la adaptación (condicionada).

Objetivo

El ANVCC da a conocer la vulnerabilidad territorial relacionada con el clima para contribuir en la toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático en el contexto de la planeación del desarrollo. Consiste en información sistematizada y una serie de mapas que muestra la vulnerabilidad territorial actual y proyectada de la República Mexicana a los impactos del cambio climático, con base en datos históricos y escenarios futuros.

Alcance

Los resultados del ANVCC servirán de insumo para las acciones que están realizando los diferentes sectores de la Administración Pública Federal en su ámbito de competencia con el compromiso de disminuir vulnerabilidad de la población, de la infraestructura, de las actividades productivas y del sistema natural en un contexto de cambio climático.

El Atlas ayuda a identificar las regiones, sectores o poblaciones vulnerables, para contribuir a una estrategia de diseño, focalización e implementación de procesos de adaptación, y su correspondiente monitoreo y evaluación.

El enfoque del ANVCC se centra en analizar problemáticas específicas relacionadas con el clima, permitiendo hacer evidente la vulnerabilidad diferencial en el territorio considerando las condiciones climáticas actuales y escenarios climáticos proyectados, así como ofrecer recomendaciones específicas a nivel regional y subregional para fortalecer la política públi-

ca de adaptación al cambio climático con el objetivo de aumentar las capacidades institucionales para reducir la vulnerabilidad, contribuyendo a la estrategia de diseño, focalización e implementación de procesos de adaptación que incrementen la capacidad adaptativa y disminuyan la sensibilidad.



ATLAS NACIONAL
DE VULNERABILIDAD
AL CAMBIO CLIMÁTICO
México

3

Construcción del ANVCC. Metodología



La evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en el contexto del ANVCC tiene como punto de partida la identificación de problemáticas asociadas al clima que tienen un impacto o que pudiesen tenerlo en los sistemas sociales, productivos, económicos y naturales. Una unidad territorial evaluada que se define tomando en cuenta las características del territorio que son importantes en el desarrollo de la problemática asociada al clima. En la mayoría de las problemáticas climáticas, el municipio es la unidad de representación para visualizar la vulnerabilidad.

Para identificar la problemática climática se parte de tres preguntas rectoras (figura 3.1):

1. ¿Qué origina a la problemática?
2. ¿Quién o qué es impactado por la problemática?
3. ¿Dónde sucede la problemática?

Proceso participativo

Dado que el ANVCC es una herramienta para apoyar la toma de decisiones a nivel institucional, era importante considerar en su construcción el enfoque participativo con dependencias del gobierno. De esta manera, en el marco de desarrollo del Atlas, se realizaron dos talleres, en abril y agosto de 2017, en los que se identificaron las principales problemáticas relacionadas con el clima y sus capacidades

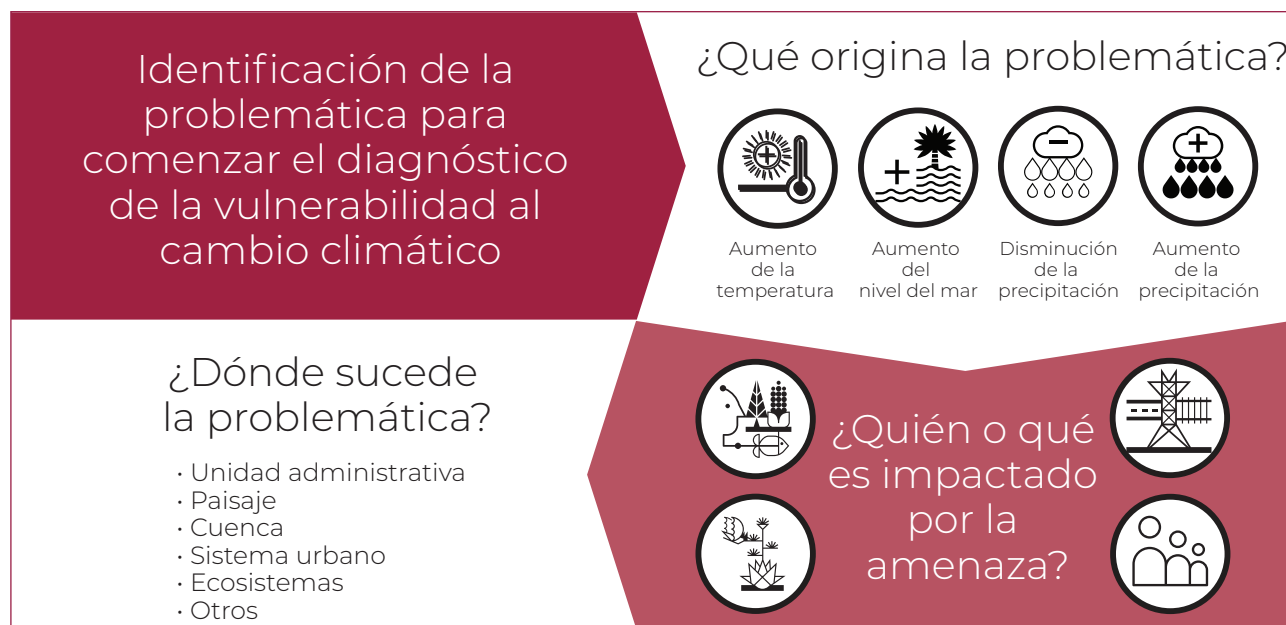


Figura 3.1. Preguntas rectoras para la identificación de la problemática en el ANVCC.

Fuente: INECC, elaboración propia.

institucionales (capacidad adaptativa) para atenderlas. Dichos talleres permitieron fortalecer la colaboración institucional, la conformación de grupos de trabajo y el seguimiento a la consolidación del ANVCC (figura 3.2).

Identificación de problemáticas relacionadas con amenazas climáticas

Con la participación de 36 dependencias federales, se identificaron problemáticas asociadas



Figura 3.2. Participantes de los talleres. *Fuente:* INECC (2017).

a amenazas de tipo climático que tienen un impacto o que pudiesen tenerlo en el contexto de cambio climático, en los sistemas sociales, productivos, económicos y naturales (figura 3.3). Las amenazas identificadas fueron el incremento en la temperatura, el incremento de la precipitación, la disminución en la precipitación e incremento del nivel del mar. Durante los mismos talleres se identificaron los ele-

mentos de sensibilidad y capacidad adaptativa (https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/in-fografia/PDF/Marco_Conceptual_ANVCC.pdf).

Una vez identificadas las problemáticas asociadas al clima que afectaban a los sectores participantes, éstas se agruparon en cuatro temas focales, así como las dependencias gubernamentales asociadas (figura 3.4).

Problemáticas identificadas asociadas al clima

Todas las aquí presentadas son el resultado de los talleres con las distintas dependencias federales.

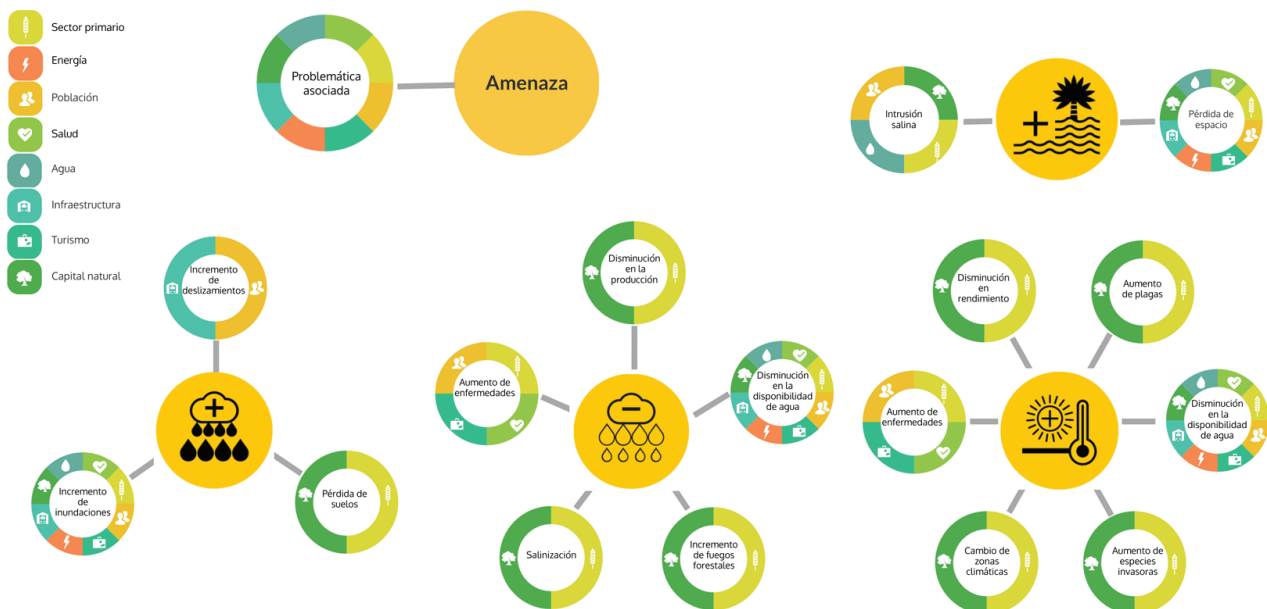


Figura 3.3. Amenazas climáticas identificadas: a) incremento del nivel del mar, b) incremento de la precipitación, c) disminución en la precipitación y d) incremento en la temperatura. Figuras elaboradas por INECC-CGACC (2018).

Grupos de trabajo

Se identificaron cuatro temas focales y las dependencias gubernamentales asociadas:



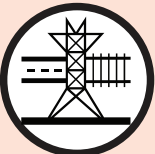

 <p>POBLACIÓN</p> <p>CENAPRED, CENAPRECE, INSP, COFEPRIS, SECTUR/FONATUR, SEDATU, SEMARNAT, SEGOB (DGGR), SEP, SEDESOL, IMT, INMUJERES, CDI, INAFED, PROSPERA, CONAPO, INEGI, CONAGUA</p>	 <p>ACTIVIDADES ECONÓMICAS</p> <p>AGROASEMEX, CENAPRED, INAES, SAGARPA, SCT, SECTUR/FONATUR, SENER, SGM, CONAFOR, CONAPESCA, CRE, INAPESCA, INIFAP, SE, SEDESOL, SEMARNAT, SENASICA, SIAP, CONAPO, INEGI, CONAGUA</p>
 <p>INFRAESTRUCTURA</p> <p>CFE, DICONSA, IMTA, IMT, ININ, PEMEX, SALUD, SCT, SEMAR, SENER, SGM, AEM, CRE, SECTUR/FONATUR, CONAPO, INEGI, CONAGUA</p>	 <p>SISTEMA NATURAL</p> <p>SEMARNAT, CONANP, SEMAR, INAPESCA, CONAFOR, CONABIO, SAGARPA, IMTA, CONAPESCA, CONAPO, INEGI, CONAGUA</p>

Figura 3.4. Temas focales y dependencias asociadas que conformaron los grupos de trabajo. Elaboración propia con resultados de los talleres de agosto de 2017 (https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/infografia/PDF/Marco_Conceptual_ANVCC.pdf).

Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático

Posterior a la identificación de las problemáticas, éstas se priorizaron y se definieron nueve vulnerabilidades al cambio climático que se representan como punto de partida en el ANVCC (figura 3.5).

Para realizar el análisis de la vulnerabilidad actual y futura se utilizó como base la metodología propuesta por el IPCC (2007), contenida en la LCCC; sin embargo las definiciones se reinterpretaron para crear un marco conceptual propio e incorporarlo en la evaluación. Siendo así que para la evaluación de la vulnerabilidad actual y en el contexto de cambio climático, se

consideraron los tres componentes definidos en la figura 3.6.

Una particularidad del ANVCC es que se enfoca en analizar problemáticas específicas relacionadas con el clima con la finalidad de dar recomendaciones puntuales para aumentar la capacidad adaptativa y disminuir la sensibilidad a amenazas climáticas concretas. A diferencia de los índices globales de vulnerabilidad cuyos criterios no permiten establecer las causas subyacentes de la vulnerabilidad. Con este enfoque de especificidad, se puede comparar y analizar las capacidades institucionales para enfrentar las amenazas derivadas del cambio climático en el territorio.

Vulnerabilidades identificadas en la primera fase del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático

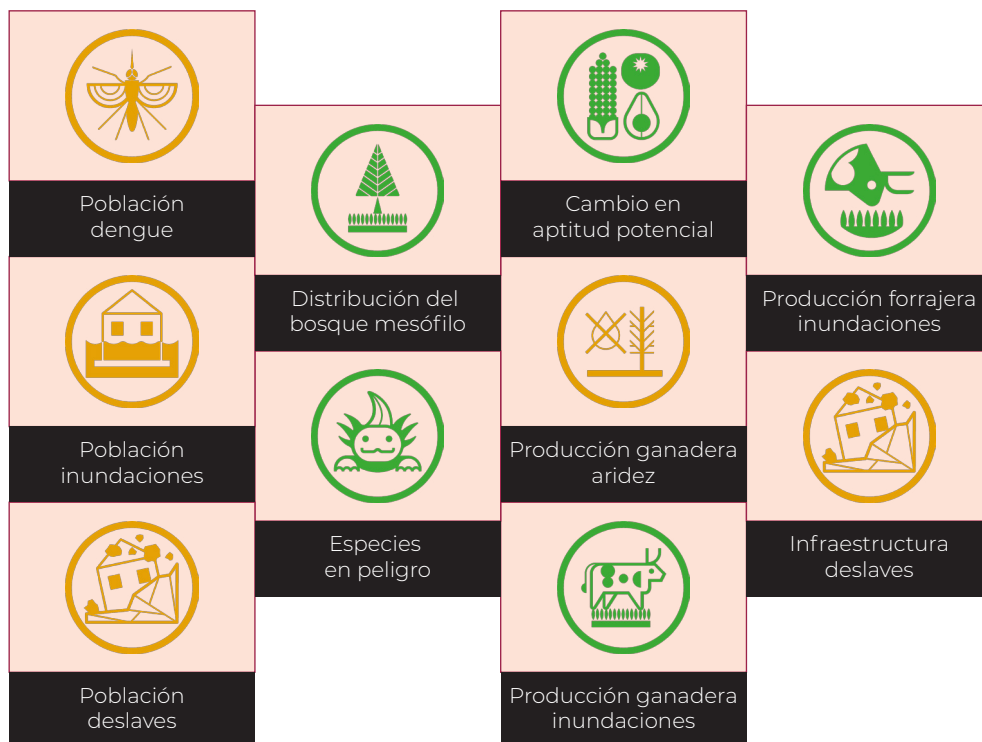


Figura 3.5. Vulnerabilidades analizadas en la primera etapa del ANVCC. Fuente: CGACC (2018).

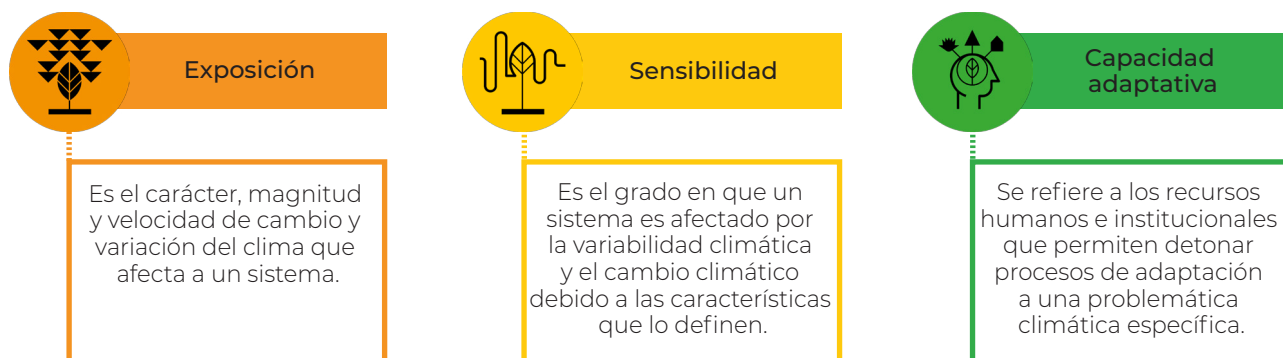


Figura 3.6. Marco conceptual del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. Fuente: CGACC (2017), basada en IPCC (2007).



4

Integración del ANVCC



Algo novedoso del ANVCC es que en su elaboración se tomó en cuenta la dinámica territorial por medio de criterios funcionales. La evaluación se hizo de acuerdo con los principios del análisis multicriterio y las representaciones de los resultados permiten la comparación en los ámbitos nacional, regional y estatal (figura 4.1).

La unidad de agregación que se definió en cada problemática, dependió de sus características territoriales; por ejemplo, para la problemática de vulnerabilidad de asentamientos humanos a inundaciones, se trabajó a nivel municipal, en cambio para la vulnerabilidad del bosque mesófilo se agregaron las subregiones descritas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2010).

Para la construcción de las variables se usaron insumos que contaran con cinco características fundamentales:

1. Medibles
2. Representación nacional
3. Fuentes oficiales
4. Disponibles
5. Actualizables



Indicadores de exposición actual

Para la construcción de los indicadores de exposición actual, se tomaron en cuenta las variables climáticas aso-



Indicadores de exposición futura

En el componente de exposición futura, se incorporaron los escenarios de cambio climático para la evaluación de las condiciones futuras proyectadas por cuatro modelos de circulación general propuestos por el INECC, el francés CNRMC-M5, el alemán MPI-ESM-LR, el estadounidense GFDL-CM3 y el inglés HADGEM2-ES, para el horizonte temporal cercano (2015-2039) y el RCP 8.5¹ (Traectorias de Concentración Representativas, RCP por sus siglas en inglés).



Indicadores de sensibilidad

En el caso de los indicadores de la sensibilidad, se consideraron las condiciones y susceptibilidad del objeto vulnerable como pueden ser la deforestación y el grado de transformación al interior de la unidad de agregación territorial, la distribución

1. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/deltas-de-cambio-anomalias-de-4-modelos-de-circulacion-global>



Figura 4.1. Proceso de construcción de las vulnerabilidades al cambio climático en el ANVCC. Elaborado por INECC-CGACC (2018).

y ubicación de la población, la carencia de servicios básicos, el grado de urbanización, el crecimiento poblacional, por mencionar algunos.



Indicadores de capacidad adaptativa

Es importante destacar que la capacidad adaptativa está en función de los recursos humanos, institucionales y de infraestructura que permiten enfrentar de mejor manera las amenazas relacionadas con el clima, en

donde la gobernanza local, por medio de la participación social (IPCC, 2007), es un componente fundamental para la evaluación de vulnerabilidad a escalas detalladas. En la evaluación de la vulnerabilidad, en esta primera etapa del ANVCC, el componente de la capacidad adaptativa se circunscribe a la evaluación de las capacidades institucionales para enfrentar amenazas relacionadas con el clima, y así lograr el objetivo de dar recomendaciones explícitas de política pública y toma de decisiones para la planeación territorial en un contexto de cambio climático.

Referencias capítulos 1 a 4

- CEPAL-IAI (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Sánchez, R. (Editor). Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- CONABIO (2010). *El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- DOF (2012). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Última reforma publicada DOF 13-07-2018.
- ENCC (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. México: Gobierno de la República
- IPCC (2007). Summary for Policymakers. En M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 7-22). Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report: Summary for Policymakers*. (R. K. Core Writing Team, Pachauri & L. A. Meyer, Eds.). Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- PECC (2014). *Programa Especial de Cambio Climático (PECC)*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314952/Logros_PECC_2016.pdf
- Sarukhán, J., Carabias, J., Koleff, P. y Urquiza-Hass, T. (Eds) (2012). *Capital Natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SEMARNAT (2015). *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc_espanolv2.pdf
- SEMARNAT-INECC (2012). *Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.
- SEMARNAT-INECC (2015). *Elementos mínimos para la elaboración de los Programas de Cambio Climático de las Entidades Federativas*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/46558/Elementos_m_nimos_para_la_elaboraci_n_de_Programas_de_Cambio_Clim_tico_de_las_Entidades_Federativas.pdf
- Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). *Realidad, datos y espacio. Realidad, datos y espacio*. *Revista Internacional de Estadística y Geografía* 6(2).



5

Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones





Ficha técnica

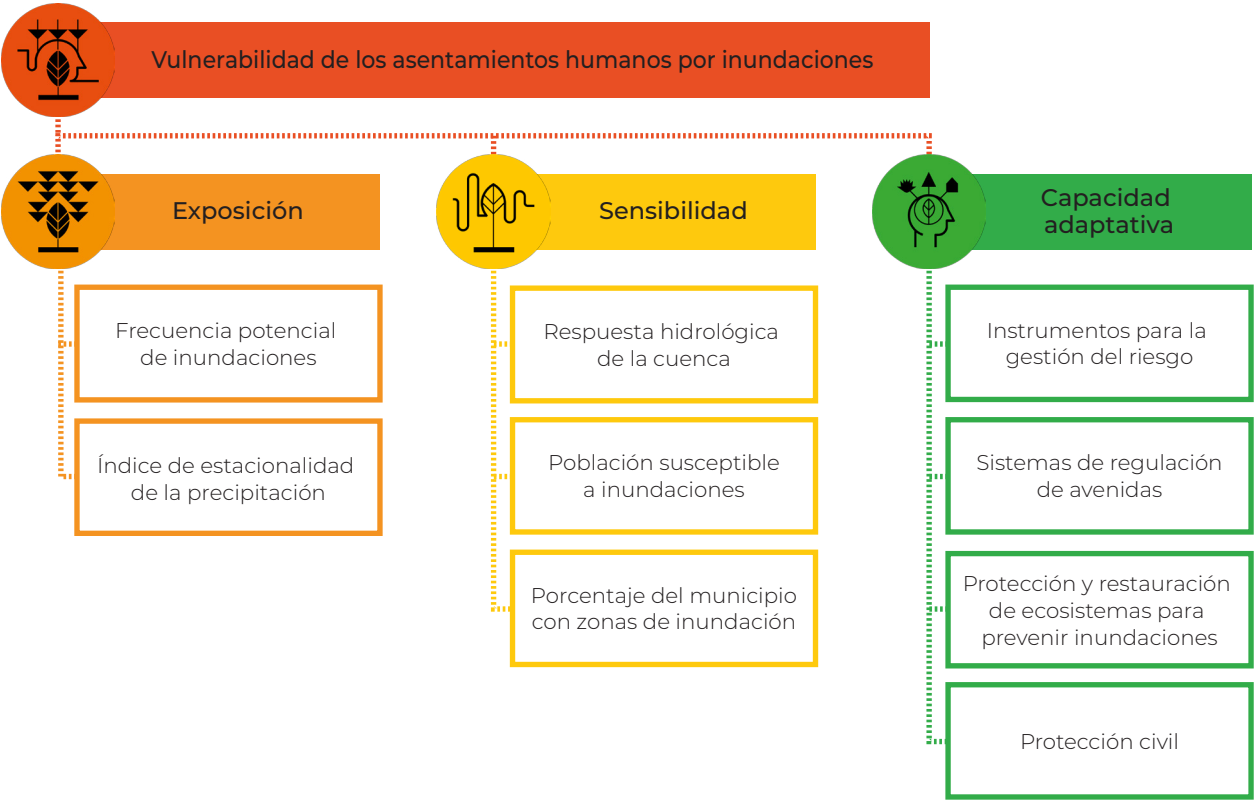
Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones

Grupo de trabajo:	Población
Objeto vulnerable:	Asentamientos humanos
Unidad de agregación:	Municipal

De manera natural las inundaciones ocurren en el territorio, sin embargo, cuando los asentamientos humanos o las zonas de actividad productiva están involucrados, éstas pueden afectar las vidas humanas y las propiedades (Rodríguez-Vázquez, 2012). Las inundaciones generan el mayor número de devastaciones y pérdidas económicas a nivel global; en 2012, afectaron a 178 millones de personas, lo que las cataloga como los eventos extremos más frecuentes (Cavazos, 2015). De acuerdo

con cifras del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), del total de la estimación de pérdidas y daños reportada por eventos extremos, el 62% (10 678 millones de pesos) correspondió a lluvias e inundaciones (Cavazos, 2015). Tan sólo en 2007, las inundaciones en Tabasco ocasionaron en conjunto daños y pérdidas que ascendieron a 3100 millones de dólares. La vivienda fue el rubro con mayores mermas, con una afectación en 123 mil viviendas (CEPAL, 2008).

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1. Frecuencia potencial de inundaciones

En las inundaciones influyen diversos parámetros climáticos y no climáticos. La magnitud de las inundaciones depende de la precipitación, su intensidad, profundidad, duración, temporalidad y distribución espacial (WMO, 2009; Stephens *et al.*, 2015; Koutroulis *et al.*, 2010; Froidevaux *et al.*, 2015). Al considerar el número de veces con la que distintos volúmenes de lluvia se presentan, se pueden identificar zonas potenciales a inundarse, por medio de la relación entre eventos de precipitación e inundaciones (CENAPRED, 2004; Froidevaux *et al.*, 2015; Koutroulis *et al.*, 2010; Stephens *et al.*, 2015). El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determinaron los umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal. Este umbral es útil para alertar a los municipios de la posible ocurrencia de una inundación en su

territorio. Dado que esta información tiene una escala temporal de horas y la información de los escenarios de cambio climático se maneja de manera mensual o anual, para poder representar un indicativo de un potencial en frecuencia que pudiese superar este umbral, se dividió el acumulado anual entre este umbral. La exposición se incrementa a medida que la frecuencia potencial de que se rebase el umbral aumenta.

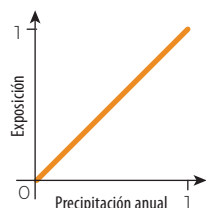
Variable 1.1. Precipitación acumulada anual

Es la cantidad total de precipitación que se registra en un sitio a lo largo del año, la cual por lo general tiene una mayor contribución de meses húmedos, de acuerdo a su climatología. La precipitación acumulada proporciona información de cuánto puede llover en un sitio, región, estado, municipio, etcétera; en este sentido en México se pueden esperar precipitaciones anuales menores a 500 mm en zonas áridas y semiáridas (por ejemplo, al norte del

país) y más de 2000 mm por año en la región del sureste. Asimismo, en la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial (CONAGUA, 2016).

Valor de función

A mayor precipitación acumulada anual, mayor exposición ante inundaciones.



Observaciones

La precipitación acumulada anual es la suma de la precipitación mensual durante los 12 meses del año. Se aplicó para los datos observados en el periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, GFDL-CM3 y HADGEM2-ES, con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

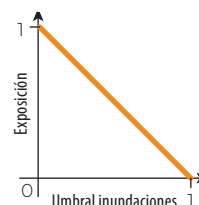
Variable 1.2. Umbral municipal de inundación

La precipitación ocasionada por ciclones tropicales, lluvias orográficas, lluvias invernales o frentes fríos y lluvias convectivas, puede causar inundaciones, debido a la saturación del suelo de un terreno, donde el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, por horas o hasta días (CENAPRED, 2004). Para poder prevenir posibles inundaciones, el CENAPRED, en conjunto

con la CONAGUA, determinaron umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal. Si los valores de precipitación sobrepasan este valor fijo entonces sería un detonador de posibles inundaciones. Así como las lluvias varían a lo largo del territorio nacional dependiendo de la climatología, el umbral también tendrá diferenciaciones; en regiones secas los valores serán menores que aquellos de lugares húmedos.

Valor de función

A menor umbral, mayor será la exposición a inundación.



Observaciones

Se utilizaron como base los umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal elaborados por CONAGUA y CENAPRED.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Índice de la estacionalidad de la precipitación

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, se puede dividir entre meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias,

en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez *et al.*, 2008). Los municipios donde el régimen de lluvias se concentra en pocos meses son más susceptibles a inundaciones, porque hay un mayor número de eventos continuos de precipitación, los cuales se acumulan exponiendo a la población a avenidas súbitas de agua de lluvia por escurrimiento. Para representar la estacionalidad se ha utilizado el índice de estacionalidad (*SI*, por sus siglas en inglés), definido por Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año dividido por la precipitación anual del año, es decir:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

donde:

\bar{x}_n es el promedio de la precipitación del mes *n*

\bar{R} es el promedio anual de la precipitación.

El rango de valores del índice varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1.83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes).

El *SI* se integra como criterio porque determina la concentración de la precipitación en un periodo de tiempo dado, es decir, proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad de la lluvia (Kanellopoulou, 2002; Walsh y Lawler, 1981), para así poder relacionarla con eventos de inundaciones (Ye *et al.*, 2017).

Régimen de Lluvia	Límites de clases <i>SI</i>
Distribución de Lluvia muy constante	≤ 0.19
Constante pero con una temporada húmeda definida	0.20-0.39
Algo estacional con una corta temporada más seca	0.40-0.59
Estacional	0.60-0.79
Marcadamente estacional con una temporada seca más larga	0.80-0.99
Mucha Lluvia en 3 meses o menos	1.00-1.19
Extrema, casi toda la lluvia en 1-2 meses	≥ 1.20

Fuente: Walsh y Lawler (1981).

En comparación con otros índices (Cornejo-Ayala, 2006), que pueden subestimar la caracterización, el *SI* define los contrastes de lluvia con más detalle por su mayor número de clasificaciones.

Los valores altos indican que la precipitación se concentra en menos meses. Si la precipitación es más estacional, ésta se relaciona con más eventos de lluvias torrenciales, que a su vez están relacionados a eventos de inundación (Poff *et al.*, 2006; Villarini *et al.*, 2009; Villarini *et al.*, 2011; Zhang y Qian, 2004).

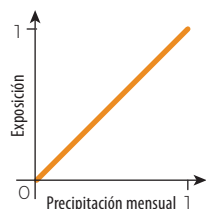
Variable 2.1. Precipitación mensual

Por medio del cálculo de la precipitación mensual se puede caracterizar su ciclo anual, el cual permite conocer la distribución de la lluvia a través del año. Es decir, qué meses son secos y cuáles húmedos, siendo estos últimos los más expuestos a la ocurrencia de precipitaciones que pueden ocasionar inundaciones. En una gran parte del territorio nacional la temporada

de lluvias se presenta en la mitad del año, durante los meses de mayo a octubre, excepto en un área del noroeste en donde predominan las lluvias en invierno. En la vertiente del Océano Pacífico, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de Baja California, la vertiente del Golfo de México, la región noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes elevadas de las montañas del sur del país, se presenta un máximo de precipitación durante septiembre, el cual coincide con la temporada de ciclones tropicales. En las cuencas interiores del sur, así como sobre la Altiplanicie Mexicana, el máximo ocurre en los meses de junio o julio. En el extremo noroeste del territorio se tiene un régimen de lluvias con máximo en diciembre o enero. Mientras que las zonas del norte, noreste y noroeste de la porción continental tienen un régimen de lluvias uniformemente distribuidas (García, 2003).

Valor de función

A mayor precipitación mensual, mayor exposición.



Observaciones

La precipitación mensual se utilizó como insumo para calcular el índice de estacionalidad, así como el promedio anual.

Se aplicó para los datos observados para el periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". World-Clim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shape-file].

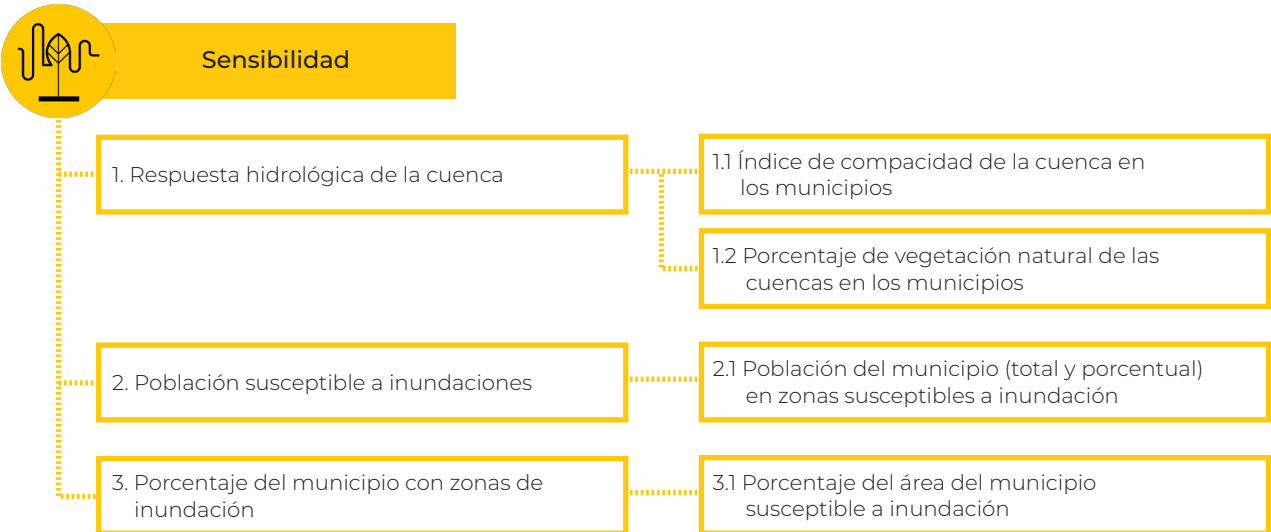
Variable 1.2

1. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shape-file].
2. CONAGUA-CENAPRED (s.f.). *Umbrales de inundación*. Comunicación interinstitucional.

Variable 2.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". World-Clim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shape-file].

Sensibilidad



Criterio 1. Respuesta hidrológica de la cuenca

La importancia de conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas reside en la posibilidad de estimar los recursos hídricos aportados por éstas, la respuesta ante eventos extremos y de este modo evitar el riesgo por fuertes crecidas (Álvarez *et al.*, 2001). Las fuertes precipitaciones que caen sobre una cuenca saturan los suelos de humedad, producen fuertes escorrentías y causan el desbordamiento de los cauces, provocando inundaciones en las tierras bajas (Narro, 1986). La función hidrológica de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento o infiltración. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, incluyendo la naturaleza del suelo y la cobertura vegetal (Gaspari, 2002; Cruz-Romero *et al.*, 2015). La influencia de estos factores se puede cuantificar para

comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (López Cadenas de Llano, 1998; Méndez y Marcucci, 2006; Matter *et al.*, 2010).

Para incorporar criterios funcionales a unidades político-administrativas y considerar parámetros morfométricos de la cuenca, se hace una comparación entre figuras geométricas (círculo, óvalo, cuadrado y rectángulo) y la forma de la cuenca, la cual proporciona información sobre la concentración de los flujos en la misma (CORTOLIMA, s/f). De esta manera, entre más redonda es la forma de la cuenca, la concentración de los flujos superficiales es más rápida, generando picos súbitos violentos ante tormentas extraordinarias, características que favorecen el escurrimiento directo y eleva el riesgo a sufrir inundaciones (Ortiz-Vera, 2015). Los flujos superficiales y el escurrimiento pueden ser regulados gracias a la vegetación

natural de la cuenca, la cual además juega un papel clave en el aporte de servicios ambientales, mantiene la calidad del agua, protege el suelo de la erosión y controla las inundaciones, entre otras funciones. Sin embargo, factores como la deforestación y el grado de transformación al interior de la cuenca modifican la funcionalidad de la vegetación, deteriorando la capacidad de regulación hídrica. Por ejemplo, la urbanización en las cuencas modifica el uso de suelo, aumentando el área impermeabilizada y disminuyendo el área de infiltración, el aumento del caudal de escurrimiento pico y la disminución del tiempo para alcanzar este pico (Rey-Valencia y Zambrano, 2018). De esta manera, la distribución espacial de la vegetación natural es un indicador para conocer el estado ambiental de una cuenca y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamentales para el ambiente y el ser humano (Cuevas et al., 2010).

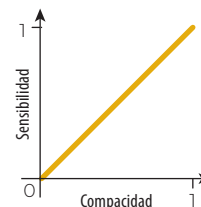
Con base en estas características de las cuencas se construyó el índice de “respuesta hidrológica”, con la finalidad de considerar el impacto de los procesos de regulación de inundaciones de las cuencas en la población ubicada en zonas inundables. Para asignar un valor municipal de estos criterios funcionales, se calculó el porcentaje de la población municipal que se encuentra en zonas inundables en cada cuenca, posteriormente ese porcentaje se multiplicó por los valores estandarizados del índice de compacidad y de porcentaje de vegetación natural para cada cuenca. El resultado final representa la sumatoria de los valores de todas las cuencas que contienen población en zonas inundables por cada municipio.

Variable 1.1. Índice de compacidad de la cuenca en los municipios

Las cuencas con forma redonda a oval redonda concentran más rápidamente los flujos superficiales, generando picos súbitos, características que favorecen el escurrimiento directo y elevan el riesgo de inundaciones (Ortiz-Vera, 2015; López-Pérez et al., 2014). Para llevarlo a nivel de municipios se tomó en cuenta la población ubicada en las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio, el porcentaje de la población en cada cuenca se multiplicó por el valor de ranqueo asignado y se hizo la suma de las cuencas con influencia en el municipio.

Valor de función

Mientras más cercano a uno sea el índice de compacidad de la cuenca, se tendrá mayor susceptibilidad a inundaciones.



Observaciones

Para integrar esta variable se utilizaron los siguientes insumos:

1. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas* [shapefile].
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].
3. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].
4. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

Primero se calculó el índice de compacidad (*K*) de las cuencas hidrológicas siguiendo el método de Gravelius. Después se categorizaron los valores de *K* y se les asignó el orden de ranqueo de acuerdo al número de categorías:

Se seleccionaron las cuencas que tienen influencia hidrográfica con la población del municipio en zonas inundables (*ZI*), y se estimó el porcentaje de la población del municipio en *ZI* contenida en cada cuenca. Se multiplicó el valor de orden de ranqueo por el porcentaje de la población del municipio en zonas inundables, por ejemplo:

ID_cuenca	Valor K	Categoría	Ranqueo	CVE_MPO	% Pob ZI	Var_IC
Cuenca 1	1.89	1	0.10	Mun 1	25	2.5
Cuenca 2	1.55	2	0.20	Mun 1	0	0
Cuenca 3	1.30	3	0.30	Mun 1	5	1.5
Cuenca 4	1.05	4	0.40	Mun 1	30	12
Cuenca 5	1.15	4	0.40	Mun 1	45	18

Para asignar el valor de índice de compacidad a los municipios, se realizó la sumatoria del producto del orden de ranqueo multiplicado por el porcentaje de la población del municipio en *ZI* de la o las cuencas contenidas en el municipio (*Var_IC*).

$$Var_IC = \sum (0.1*25\%) + (0.2*0\%) + (0.3*5\%) + (0.4*30\%) + (0.4*45\%)$$

Unidad de agregación
Municipio.

Variable 1.2. Porcentaje de vegetación natural de las cuencas en los municipios

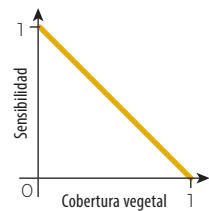
En una cuenca, el inadecuado manejo de los recursos naturales da como resultado un desbalance entre la respuesta de los componentes del balance hídrico, aumentando considerablemente las velocidades y volúmenes del escurrimiento, las tasas de desprendimiento, el transporte de sedimentos y la disminución de los procesos de infiltración y retención de agua (Marks *et al.*, 1993; Granada-Isaza *et al.*, 2013; Rey-Valencia y Zambrano, 2018). En este sentido, la cubierta vegetal preserva los recursos hídricos y los mecanismos de transferencia entre el suelo y la vegetación, manteniendo la calidad del agua, regulando la cantidad de ésta en los cauces, protegiendo el suelo de la erosión y controlando las inundaciones, entre otras (Cuevas *et al.*, 2010; Granada-Isaza *et al.*, 2013). La destrucción de la vegetación incrementa los efectos negativos de los procesos hidrológicos de superficie (Granada-Isaza *et al.*, 2012). El uso de suelo urbano trasforma la respuesta hidrológica, ya que el porcentaje de área impermeable controla los volúmenes de escorrentía que se generan y se incrementa el caudal pico (Rey-Valencia y Zambrano, 2018).

La distribución espacial de la vegetación natural es un indicador para conocer el estado ambiental de una cuenca y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamentales para el ambiente y el ser humano (Cuevas *et al.*, 2010).

Valor de función

Una mayor cobertura de vegetación natural ayuda a regular la cantidad y periodicidad de

los cauces y controla las inundaciones, disminuyendo la susceptibilidad de la población que se encuentra asentada en la cuenca.



Observaciones

De las cuencas identificadas con influencia hidrográfica sobre la población del municipio en ZI, se calculó el porcentaje de vegetación natural con respecto a la superficie de la cuenca. Se categorizaron las cuencas y se les asignó un orden de ranqueo con respecto a su porcentaje de vegetación natural:

ID_cuenca	%VegNat	Categoría	Rank_VegNat	CVE_MPO	% Pob ZI	Var_VegNat
Cuenca 1	45	3	0.30	Mun 1	25	7.5
Cuenca 2	60	2	0.20	Mun 1	0	0
Cuenca 3	35	3	0.30	Mun 1	5	1.5
Cuenca 4	78	1	0.10	Mun 1	30	3
Cuenca 5	55	2	0.20	Mun 1	45	9

Para la asignación del valor de vegetación natural a los municipios, se realizó la sumatoria del producto del orden de ranqueo multiplicado por el porcentaje de la población del municipio en ZI de la o las cuencas contenidas en el municipio (Var_VegNat):

$$Var_VegNat = \sum (0.3*25\%) + (0.2*0\%) + (0.3*5\%) + (0.1*30\%) + (0.2*45\%)$$

Para llevarlo a nivel municipal se tomó en cuenta la población ubicada en las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio, el porcentaje de la población de cada cuenca se multiplicó por el valor de ranqueo asignado y se hizo la suma de la(s) cuenca(s) con influencia en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Población susceptible a inundaciones

Debido al crecimiento poblacional, los asentamientos humanos suelen establecerse en zonas no aptas para habitar, por lo tanto, son susceptibles a eventos hidrometeorológicos extremos, como las inundaciones ocasionadas por precipitaciones intensas y/o frecuentes. Se debe evaluar dónde se concentra la población y si ésta se encuentra en zonas susceptibles a inundaciones (Saavedra, 2010) respecto de un municipio.

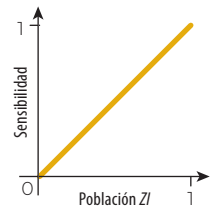
Variable 2.1. Población del municipio (total y porcentual) en zonas susceptibles a inundación

Es necesario determinar el número de población de un municipio que se asienta en zonas susceptibles a inundaciones. El cálculo de la proporción entre el porcentaje de población asentada en zonas susceptibles a inundaciones y la población total en los municipios permite no sobreestimar o subestimar valores.

Valor de función

A mayor población asentada en zonas inun-

dables, mayor susceptibilidad a sufrir daños por este fenómeno.

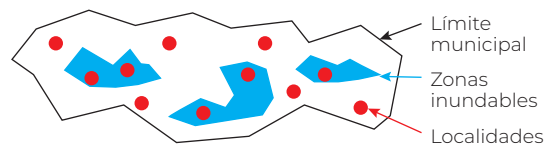


Observaciones

Para la integración de esta variable se necesitó de tres insumos cartográficos base:

1. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].
2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010* [shapefile].
3. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].

Primero se identificó la población de los municipios que habitan zonas inundables en valores totales y relativos (porcentaje con respecto a la población total del municipio).



Posteriormente se realizó una estandarización máxima con los valores totales y relativos de la población en zonas inundables.

Para la construcción del criterio *Población susceptible a inundaciones (psi)* se integró en una sola variable, con valores totales y

porcentuales con la finalidad de “normalizar” la heterogeneidad en los tamaños de población de los municipios del país. Se elaboró una suma lineal sin ponderación de los valores estandarizados para la población total y relativa en zonas inundables del municipio, siguiendo los principios básicos de análisis multicriterio.

<i>CVE_MPO</i>	Municipios 1
<i>POB_TOT</i>	A
<i>P_TOT_ZI</i>	B
<i>P_REL_ZI</i>	$C = \frac{B \cdot 100}{A}$
<i>STD_TOT_ZIC</i>	$= \frac{(B - V_{min})}{V_{max} - V_{min}}$
<i>STD_REL_ZI</i>	$= \frac{(C - V_{min})}{V_{max} - V_{min}}$

$$PSI \text{ del municipio } n = ([STD_TOT_ZI] \cdot 0.5) + ([STD_REL_ZI] \cdot 0.5)$$

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Porcentaje del municipio con zonas de inundación

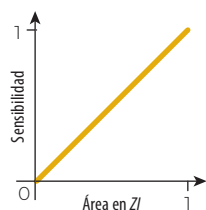
Es necesario conocer aquellos lugares de un municipio que puedan ser perturbados por inundaciones provocadas por eventos de precipitación, ya que la población que habita en esos sitios es más susceptible a las afectaciones que conllevan este tipo de eventos como pérdidas en sus viviendas, de infraestructura pública e incluso de vidas humanas.

Variable 3.1. Porcentaje del área del municipio susceptible a inundación

Se considera que a mayor área de un municipio en zonas susceptibles a inundaciones, se tiene mayor potencial a que la población resulte afectada. Entre mayor sea el porcentaje de área susceptible a inundación mayor será su sensibilidad.

Valor de función

A mayor área del municipio en zonas inundables, mayor susceptibilidad ante inundaciones.



Observaciones

Esta variable elimina la evaluación de la sensibilidad de municipios que no tengan áreas susceptibles a inundaciones.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CONAGUA (2010). *Cuencas hidrológicas* [shapefile].
2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010* [shapefile].
3. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].
4. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V, año de referencia 2011* [shapefile].
2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010* [shapefile].
3. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].

Variable 2.1

1. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].
2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010* [shapefile].
3. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].

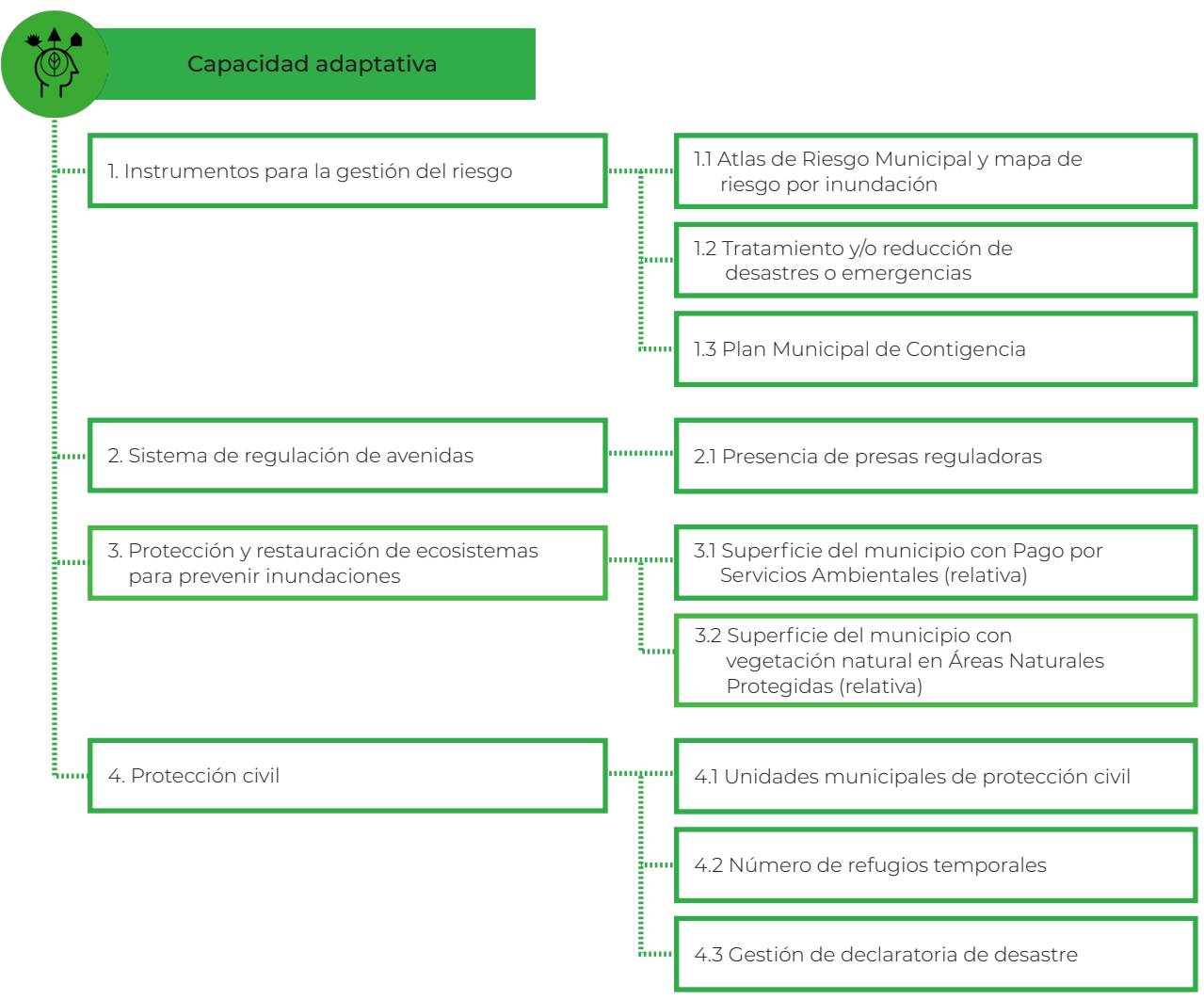
Variable 3.1

1. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca* [shapefile].
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].

Nota aclaratoria

Se presentó el caso de municipios en los que algunos no contaban con área susceptible a inundaciones de acuerdo al mapa de zonas inundables utilizado, pero que sí presentaban declaratoria de desastres por inundación. En este caso, como se necesita conocer el área susceptible a inundaciones, por lo que se les asignó el valor medio de la sensibilidad para no influir en los valores extremos de los datos de vulnerabilidad.

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Instrumentos para la gestión del riesgo

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las inundaciones son consideradas como uno de los impactos más representativos de la variabilidad climática. A los eventos de inundación se les asocian los riesgos de muerte, de lesiones, de mala salud y desorganización en los medios

de subsistencia, de pérdidas económicas y de daño a la infraestructura (IPCC, 2014).

La gestión del riesgo implica conocer los peligros a los que se está expuesto ante la variabilidad climática y el cambio climático, además permite integrar los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados. Por lo tanto, el criterio de presen-

cia de instrumentos para la gestión del riesgo, que toma en cuenta la formulación de planes y programas dirigidos a implementar medidas de prevención ante inundaciones, incrementa las capacidades de prevención y reacción ante estos eventos (Ulloa, 2011).

Variable 1.1. Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por inundación

Esta herramienta apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio y la afectación de la población. Con base en el análisis territorial, promueve medidas de prevención para la seguridad de la población e infraestructura.

Valor de función

- 0 - Indica que no tiene atlas de riesgo municipal.
- 1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no tiene mapa de inundación.
- 2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y tiene mapa de inundación.

Aumenta la capacidad adaptativa de la población ante inundaciones si se cumple 1 y 2.

Observaciones

La información se generó con base en la revisión de los atlas de riesgo de cada municipio.

Los fenómenos meteorológicos que se integran en el atlas de riesgo municipal son:

- Sequía
- Heladas

- Tormentas eléctricas
- Tormentas de granizo
- Tormentas de nieve
- **Inundaciones**
- Ondas gélidas y cálidas
- Ciclones tropicales
- Tornados
- Viento
- Erosión y acreción costera

La información de las condiciones 0, 1 y 2 se normalizó para tener la contribución de cada una de ellas entre los valores de 0 y 1.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Tratamiento y/o reducción de desastres o emergencias

Son las acciones de prevención derivadas del Programa de Protección Civil con las que cuentan las administraciones públicas municipales y alcaldías. La atención de este rubro dentro del programa contribuye a la mejora continua en las prácticas de preparación, respuesta y recuperación para casos de desastre de la población, particularmente en el tema de inundaciones.

Valor de función

- 1 - Indica que se cuenta con acciones de prevención en el tratamiento y/o reducción de desastres o emergencia.
- 0 - Indica que no se cuenta con acciones de prevención en el tratamiento y/o reducción de desastres o emergencia.

Observaciones

Clasificación de los municipios y las alcaldías de la Ciudad de México, de acuerdo con el tema considerado o atendido en el Programa de Protección Civil al cierre del año 2014.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.3. Plan Municipal de Contingencia

Es el instrumento de planeación del que disponen las autoridades municipales de Protección Civil para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a las situaciones de emergencia causadas por fenómenos destructivos de origen natural o humano (INAFED, s/f).

Valor de función

1 - Se cuenta con plan de contingencias.

0 - No se cuenta con plan de contingencias.

Observaciones

La base de datos tiene la siguiente clasificación del Plan Municipal de Contingencia:

0 - Indica que no se cuenta con un plan.

1 - Indica que se cuenta con un plan.

2 - Indica que el plan está en proceso.

3 - Indica que no se sabe si cuenta con un plan.

Los valores 0, 2 y 3 se agruparon al valor 0, para indicar que no se cuenta con un Plan de Contingencias.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Sistemas de regulación de avenidas

Las presas de control de avenidas funcionan como una especie de sistema de control y monitoreo, ya que se diseñan con el propósito de que siempre permanezcan vacías excepto durante los periodos relativamente cortos en que ocurren las avenidas ordinarias (horas), cuando los ingresos de agua al embalse (vacío) se regulan en el mismo y se desfogan a través de la obra de control. La capacidad máxima de descarga de la obra de control no debe exceder la capacidad máxima del cauce aguas abajo.

La función fundamental de las presas de control de avenidas e inundaciones es reducir el pico de la avenida ordinaria del río, que puede causar daños a la población, mediante la regulación de volúmenes de agua en el embalse y la descarga simultánea de los caudales reducidos en la obra de control (SEMARNAT, 2011). La capacidad de respuesta del municipio se aumenta debido a la presencia de presas reguladoras, y podría llegar a disminuir el riesgo a inundaciones.

Variable 2.1. Presencia de presas reguladoras

Ante la presencia de una avenida extraordinaria es difícil atenuar los gastos máximos, por lo que la regulación y el monitoreo de estos se pueden realizar mediante el incremento en la construcción de la red de presas reguladoras, au-

mentando la protección ante las inundaciones de asentamientos humanos (CENAPRED, 2004).

Valor de función

1 - Indica la presencia de presas reguladoras de avenidas.

0 - Indica que no se tiene la presencia de presas reguladoras de avenidas.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir inundaciones

Los asentamientos urbanos modifican el paisaje, estableciendo un sistema artificial y dinámico; a medida que se afectan los servicios de los ecosistemas, el número de desastres aumenta. Las áreas protegidas ayudan a mitigar los efectos de las inundaciones, con medidas puntuales como la protección de llanuras aluviales, áreas de humedales y en pequeñas cuencas (Pabon-Zamora *et al.*, 2008).

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y la protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos.

Entre los instrumentos de conservación se cuentan con las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los Programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA). Estos programas proveen dos beneficios importantes ante la problemática de las

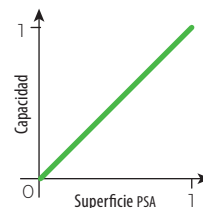
inundaciones, los cuales son la infiltración del agua y el control de las inundaciones (OEA, 2008).

Variable 3.1. Superficie del municipio con Pago por Servicios Ambientales (relativa)

Se consideran las áreas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA), las cuales representan la presencia de criterios en las masas forestales que promueven la conservación en el contexto de instrumentos económicos diseñados para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficia a la sociedad (CONANP, 2010).

Valor de función

A mayor porcentaje de superficie elegible para el esquema de PSA, mayor capacidad adaptativa ante inundaciones.



Observaciones

A través de estudios e investigaciones realizados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), se definen las áreas elegibles en ecosistemas forestales de México. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con PSA, lo cual permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

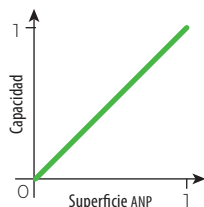
Municipio.

Variable 3.2. Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativa)

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos. El beneficio directo relacionado con la problemática abordada de los servicios proveídos por las áreas conservadas, es el control de inundaciones, el cual disminuye el grado de sensibilidad de las poblaciones asentadas en las partes bajas de la cuenca (OEA, 2008).

Valor de función

A mayor porcentaje de superficie del municipio con vegetación natural en ANP, mayor capacidad adaptativa ante inundaciones.



Observaciones

Se consideraron las Áreas Naturales Protegidas federales. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área de vegetación natural del municipio con ANP, lo cual permite no sobreestimar o subestimar los valores.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 4. Protección civil

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE): “la protección civil es clave para garantizar la seguridad y el bienestar de los ciudadanos y para construir una resiliencia económica y social ante los desastres”. Los peligros naturales están fuera del control gubernamental, no así las políticas públicas, que pueden “reducir los daños por desastres y modificar los niveles de vulnerabilidad que subyacen a los riesgos de desastres” (OCDE, 2013).

La existencia de unidades de protección civil, así como la capacitación en este rubro, permiten hacer frente a los efectos adversos de los desastres por fenómenos naturales y especialmente por inundaciones; al tener un personal mejor capacitado se podrá dar una mejor respuesta ante emergencias (OCDE, 2013). Los programas de protección civil o planes de contingencia con los que cuentan los municipios y las alcaldías, inciden en el aumento de la capacidad de respuesta ante inundaciones.

Variable 4.1. Unidades municipales de protección civil

La existencia de unidades de protección civil, así como la capacitación en este rubro, permiten hacer frente a los efectos adversos de los desastres por fenómenos naturales y especialmente por inundaciones (OCDE, 2013).

Valor de función

1 - Indica la existencia de unidades de protección civil en el municipio.

0 - Indica la no existencia de unidades de protección civil en el municipio.

Unidad de agregación

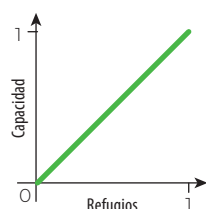
Municipio.

Variable 4.2. Número de refugios temporales

Antes y después de la ocurrencia de una inundación en una comunidad, es necesario asegurar la protección de los habitantes. En este caso los refugios temporales juegan un papel fundamental, ya que en ellos se brinda protección y bienestar de forma inmediata a la población que no tiene posibilidades de acceso a una habitación en caso de un siniestro por inundación (CENAPRECE, 2015). Si una comunidad cuenta con refugios temporales tendrá mayor capacidad adaptativa ante una inundación.

Valor de función

A mayor número de refugios temporales en el municipio, mayor capacidad adaptativa ante inundaciones.



Unidad de agregación

Municipio.

Variable 4.3. Gestión de declaratoria de desastres

Ante un desastre natural, una entidad federativa puede solicitar una declaratoria de desastre, la cual es una manifestación pública que realiza la Secretaría de Gobernación a solicitud

de la entidad afectada sobre la ocurrencia de algún fenómeno natural perturbador en un tiempo y lugar determinado, que causó daños en viviendas, servicios e infraestructura. La declaratoria de desastre es un requisito indispensable para que las entidades federativas accedan a los recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), y así puedan iniciar con la reconstrucción de los daños ocasionados por el fenómeno natural (DGGR, 2014).

Es importante que las entidades federativas, en todos sus niveles, tengan conocimiento del procedimiento administrativo para tramitar una declaratoria de desastre y así recibir fondos que ayuden a la reconstrucción.

Valor de función

1 - Indica que el municipio cuenta con declaratorias de desastre y por tanto tiene capacidad de gestión ante inundaciones.

0 - Indica que no cuenta con declaratorias de desastre y por tanto no tiene capacidad de gestión ante inundaciones.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CENAPRED (2010-2018). "Cobertura de Atlas Municipales" [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2014). "Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional.

Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015” [archivo de texto csv].

Variable 1.3

1. INEGI (2014). “Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015” [archivo de texto csv].

Variable 2.1

1. CENAPRED (s.f.). *Presas de control de avenida* [shapefile].

Variable 3.1

1. CONAFOR (2015-2018). *Pago por servicios ambientales* [shapefile].

Variable 3.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V, año de referencia 2011* [shapefile].

2. CONANP (2010). *Áreas Naturales Protegidas* [shapefile].
3. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas* [shapefile].

Variable 4.1

1. INEGI (2014). “Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015” [archivo de texto csv].

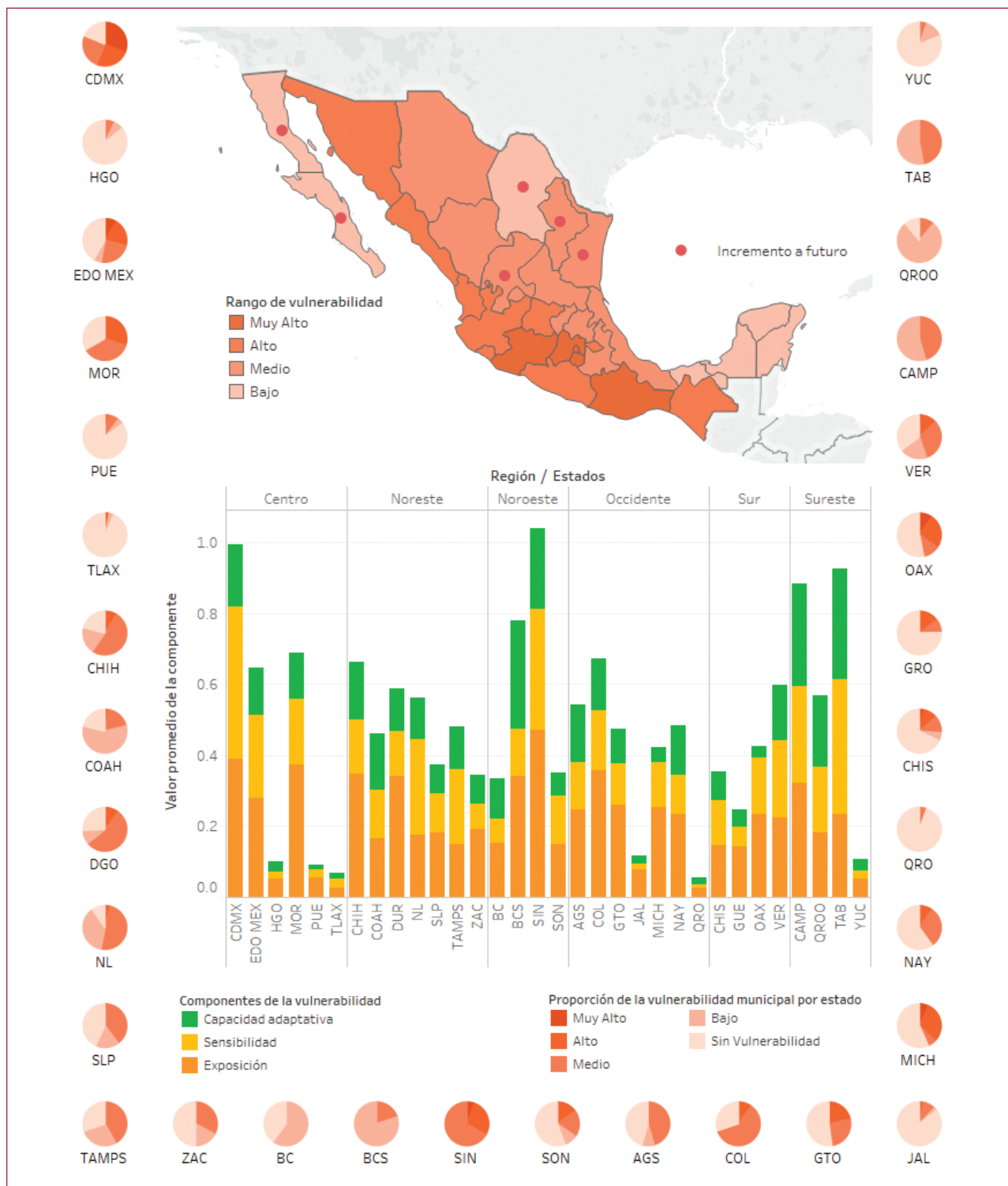
Variable 4.2

1. INEGI (2015). *Albergues. Censo de Alojamientos de Asistencia Social* [archivo de texto csv].

Variable 4.3

1. CENAPRED (2000-2016). “Declaratorias sobre emergencia, desastre y contingencia climatológica a nivel municipal entre 2000 y 2016” [archivo de texto csv].

Mapa 5.1. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por inundaciones



En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de los asentamientos humanos por inundaciones por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alto a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Referencias

- Álvarez, M., Varela, C., Soto, B., López, E. y Díaz-Fierros, F. (2001). *Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca fluvial y su relación con la precipitación*. España: Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago.
- Cavazos, T. (Ed.). (2015). *Conviviendo con la naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México*. México: Ediciones ILCSA. Recuperado de: http://usuario.cicese.mx/~tcavazos/pdf/T_Cavazos_Libro_REDESClim_2015.pdf
- CENAPRECE (2015). 4. Refugios temporales. En Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (Ed.), *Manual de Atención a la Salud ante Desastres*. México: Secretaría de Salud. Recuperado de: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/emergencias/descargas/pdf/ManualRefugiosTemporales.pdf>
- CENAPRED (2004). *Fascículo Inundaciones*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres / Secretaría de Gobernación. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- CEPAL (2008). *Tabasco: características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de: https://www.cepal.org/publicaciones/xml/3/33373/L864_parte_1_de_8.pdf
- CONAGUA (2016). *Estadísticas del Agua en México 2016*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Comisión Nacional del Agua.
- CONANP (2010). *Pago por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas*. México: Comisión Nacional de Áreas Protegidas.
- Cornejo-Ayala, F. N. (2006). *Análisis del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones en la séptima región del Maule (tesis de licenciatura)*. Chile: Universidad de Talca. Recuperado de: http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/cornejo_ayala_f.pdf
- CORTOLIMA (s/f). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas las Panelas y la Balsa*. Colombia: Corporación Autó-

- noma Regional del Tolima (pp 143-156). Recuperado de: <http://www.cortolima.gov.co/cuenca-gual/gesti-n-integral-recurso-h-drico>
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M. y Téllez López, J. (2015). *Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 64:26-34.
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J. L. y González, D. (2010). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. En Cotler H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización* (pp.96-103). México: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- DGGR (2014). *Dirección General para la Gestión de Riesgos*. México: Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Fonden>
- Froidevaux, P., Schwanbeck, J., Weingartner, R., Chevalier, C. y Martius, O. (2015). Flood triggering in Switzerland: the role of daily to monthly preceding precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(9):3903-3924. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3903-2015>
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 50:67-76.
- Gaspari, F. J. (2002). *Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Argentina: Ediciones Cooperativas.
- Granada Isaza, C. A., Ventura Ramos, E., Baumann, J., Oropeza Mota, J.L. y Mobayed, N. (2013). Efecto del estado de degradación en la respuesta hidrológica de dos unidades de escurrimiento en la cuenca del río La Sierra, México. *European Scientific Journal* 9:194-210.
- Granada-Isaza, C. A., Ventura-Ramos, E. y Oropeza-Mota, J. L. (2012). Reinforcement of soil imprinting with gypsum and polyacrylamide to control water erosion and runoff. *Terra Latinoamericana* 30(1):69-79.
- INAFED (s/f). *Guía técnica. Prevención y atención de contingencias a nivel municipal*. México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado de: http://www.inafed.gob.mx/work/models/inafed/Resource/335/1/images/guia24_prevencion_y_atencion_de_contingencias_a_nivel_municipal.pdf
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf
- Kanellopoulou, E. A. (2002). Spatial distribution of rainfall seasonality in Greece. *Weather* 57(6):215-219. Doi: <https://doi.org/10.1256/004316502760-053576>
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K. y Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394(1-2):90-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.04.025>
- López Cárdenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión*. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Min. Medio Ambiente.
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. y Fernández-Reynoso, D. (2014). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua* VI(1):121-137.
- Marks, D., King, G. A. y Dolph, J. (1993). Implications of climate change for the water balance of the Columbia River Basin, USA. *Climate Research* 2:203-213.
- Matter, M. A., García, L. A., Fontane, D. G. y Bledsoe, B. (2010). Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology* 380(3):260-276.
- Méndez, W. y Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas - Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 47(1):29-55.
- Méndez González, J., Nívar Cháidez, J. J. y González Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 65:38-55.
- Narro, H. F. (1986). Flujos hídricos potenciales en una cuenca fluvial semiárida (Río Guadalupe). *Papeles de Geografía Física* 11:35-43.

- OCDE (2013). Principales peligros generados por fenómenos naturales y vulnerabilidades. En *Estudio de la OCDE sobre el Sistema Nacional de Protección Civil en México*. Francia: OECD Publishing. Doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200210-es>
- OEА (2008). *Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe* (Documento borrador). Arlington, Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Sostenible.
- Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. *Tecnología y Ciencias del Agua* VI(4):25-44.
- Pabon-Zamora, L., Bezaury, J., Leon, F., Gill, L., Groves, A., Mitchell, S. y Dudley, N. (2008). *Valorando la Naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas*. Estados Unidos: The Nature Conservancy. Recuperado de: <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf>
- Poff, N. L., Bledsoe, B. P. y Cuhaciyan, C. O. (2006). Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology* 79(3-4):264-285. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.06.032>
- Rey-Valencia, D. y Zambrano, J. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande. *Revista UIS Ingeniería* 17(1):115-126.
- Rodríguez-Vázquez, H. G. (2012). *Inundaciones en zonas urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*. México: UNAM.
- Saavedra, F. (2010). *Vulnerabilidad de la población frente a inundaciones e inestabilidad de laderas*. En Cotler, E. (ed) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (pp. 132-137). México: Instituto Nacional de Ecología.
- SEMARNAT (2011). *Manual para el control de inundaciones*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>
- Stephens, E., Day, J. J., Pappenberger, F. y Cloke, H. (2015). Precipitation and floodiness. *Geophysical Research Letters* 42(23):10,316-10,323. Doi: <https://doi.org/10.1002/2015GL066779>
- Ulloa, F. (2011). El entorno y la gestión del riesgo de desastre. En *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf>
- Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A. y Krajewski, W. F. (2009). On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research* 45(8). Doi: <https://doi.org/10.1029/2008WR007645>
- Villarini, G., Smith, J. A., Baeck, M. L. y Krajewski, W. F. (2011). Examining Flood Frequency Distributions in the Midwest U.S. *Journal of the American Water Resources Association, JAWRA* 47(3):447-463. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00540.x>
- Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time. *Weather* 36(7):201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>
- WMO (2009). *Integrated Flood Management: Concept Paper*. Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization. Recuperado de: http://www.apfm.info/pdf/concept_paper_e.pdf
- Ye, S., Li, H.-Y., Leung, L. R., Guo, J., Ran, Q., Demissie, Y. y Sivapalan, M. (2017). Understanding Flood Seasonality and Its Temporal Shifts within the Contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology* 18(7):1997-2009. Doi: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0207.1>
- Zhang, L.-J. y Qian, Y.-F. (2004). A Study on the Feature of Precipitation Concentration and Its Relation to Flood-Producing in the Yangtze River Valley of China. *Chinese Journal of Geophysics* 47(4):709-718. Doi: <https://doi.org/10.1002/cjg2.3541>



6

Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves





Ficha técnica

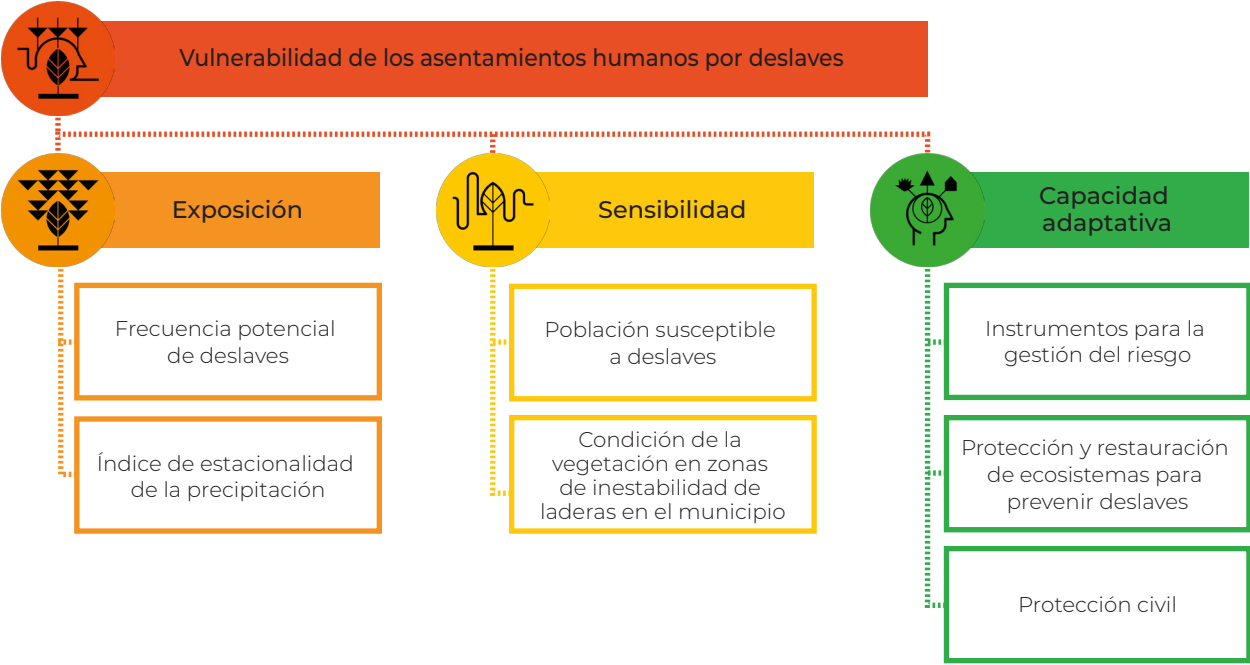
Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves

Grupo de trabajo:	Población
Objeto vulnerable:	Asentamientos humanos
Unidad de agregación:	Municipal

Cada año los deslaves causan miles de muertes alrededor del mundo y pérdidas de propiedades (Kirschbaum, Stanley y Yatheendradas, 2016; Petley, 2012; Stanley y Kirschbaum, 2017). La Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica (NASA, por sus siglas en inglés) describe los deslaves como un desastre generalizado y que, entre 2007 y 2010, causó la muerte a más de 11,500 personas en 70 países (NASA, s/f). Una de las causas que contribuye a los deslaves son las precipitaciones intensas y prolongadas, debido a que saturan el terreno, aumentan el peso volumétrico del suelo y reducen la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos (NASA, s/f; CENAPRED, 2004). Los deslaves arrastran grandes cantidades de rocas, tierra y escombros pesados, materiales que durante un

impacto tienen la capacidad de provocar daños a infraestructura, viviendas e incluso cobrar vidas humanas. Las comunidades que se encuentran al pie o sobre las laderas y montañas (en zonas urbanas o rurales) tienen un mayor riesgo por este tipo de deslizamientos (EE, s/f). En México, los deslaves han causado cuantiosos daños materiales y han cobrado cientos de vidas humanas, especialmente en los estados de Baja California, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz (CENAPRED, 2004). De acuerdo a las estimaciones de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el peligro por deslaves podría afectar a 283 municipios, donde habitan 4 millones de personas (Gobierno de la República, 2013).

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1. Frecuencia potencial de deslaves

Para poder identificar municipios con potencial de deslaves por precipitación, la subdirección de dinámica de suelos y procesos gravitacionales del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) realizó un análisis de umbrales de lluvia que detonan deslaves, en el cual observaron una relación entre la lluvia acumulada y el promedio anual de precipitación aproximada de 0.244. La cantidad total varía entre regiones: 370 mm para el Pacífico, 340 mm para el Golfo y 35 mm para el norte de Baja California (Domínguez *et al.*, 2016), las cuales se usaron para definir la escala de peligro por deslaves.

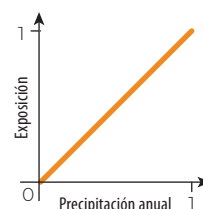
Variable 1.1. Precipitación acumulada anual

Es la cantidad total de precipitación que se registra en un sitio a lo largo del año, la cual por lo general tiene una mayor contribución de meses húmedos, de acuerdo a una climatolo-

gía. La precipitación acumulada proporciona información de cuánto puede llover en un sitio, región, estado, municipio, etcétera; en este sentido en México se pueden esperar precipitaciones anuales menores a 500 mm en zonas áridas y semiáridas (por ejemplo norte del país) y superiores a 2000 mm por año en la región del sureste. Asimismo, en la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial (CONAGUA, 2016).

Valor de función

A mayor precipitación acumulada anual, mayor exposición ante deslaves.



Observaciones

La precipitación acumulada anual es la suma de la precipitación mensual durante los

12 meses del año. Se aplicó para los datos observados en el periodo de 1950 a 2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Umbral municipal para deslaves

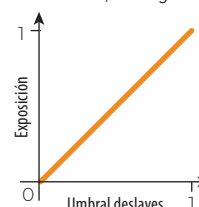
Establecer umbrales de lluvia tiene beneficios muy importantes para Protección Civil, ya que pueden ser utilizados como valores detonadores en sistemas de alerta, para la toma de decisiones respecto a la evacuación de zonas de riesgo y la implementación de medidas de prevención y protección.

El CENAPRED estableció umbrales de lluvia para la ocurrencia de deslaves, utilizando la información histórica en México y de casos en otros países. Calcularon umbrales de precipitación acumulada para casos en el Golfo de México, del Océano Pacífico y del norte de la Península de Baja California, a través de la definición de valores máximos para los cuales se detonaron deslizamientos con registros por 24 horas de duración. Al ser rebasado el umbral, ocurren deslizamientos en aquellos lugares donde el suelo se encuentra saturado por lluvias previas. Los umbrales se construyeron con base en el análisis de las gráficas de lluvia acumulada y su relación con la ocurrencia de deslizamientos; la relación tuvo un valor de 0.244. Así, con esta relación y la precipitación media anual de cada

estado para el periodo de 1941-2005, se calcularon los umbrales de lluvia por regiones y por tanto para ocurrencia de deslaves (Domínguez *et al.*, 2016).

Valor de función

A mayor cantidad de veces que se rebase el umbral para deslaves, mayor exposición.



Observaciones

Esta variable se determinó con base en la relación entre la precipitación acumulada y el promedio anual de lluvia, que es aproximadamente de 0.244 (Domínguez *et al.*, 2016), se dividió la lluvia mensual entre el promedio anual y se contaron los meses en los que el valor se rebasó. Entre mayor sea el número de meses en los que se rebase el umbral, hay mayor certeza de que se presenten deslaves.

Para cada municipio sólo se consideraron los valores de precipitación a las zonas susceptibles a inestabilidad de laderas (CENAPRED, 2013). Posteriormente se regionalizaron a nivel de municipio utilizando el promedio de meses que rebasan el umbral. Los valores pueden estar entre 0 y 12, estos se normalizaron para generar la función de valor.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Índice de la estacionalidad de la precipitación

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, por lo que se puede dividir entre meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez *et al.*, 2008). Los municipios donde el régimen de lluvias se concentra en pocos meses son más susceptibles a deslaves, porque hay un mayor número de eventos continuos de precipitación, los cuales se acumulan y saturan el suelo, lo que puede ocasionar deslaves en terrenos de pendientes prolongadas y con presencia de asentamientos humanos. Para representar la estacionalidad se ha utilizado el índice de estacionalidad (*SI*, por sus siglas en inglés), definido por Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia mensual del año dividido por la precipitación anual del año, es decir:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

donde:

\bar{x}_n es el promedio de la precipitación del mes n

\bar{R} es el promedio anual de la precipitación.

El rango de valores del índice varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1.83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes).

Régimen de lluvia	Límites de clases <i>SI</i>
Distribución de lluvia muy constante	≤ 0.19
Constante pero con una temporada húmeda definida	0.20-0.39
Algo estacional con una corta temporada más seca	0.40-0.59
Estacional	0.60-0.79
Marcadamente estacional con una temporada seca más larga	0.80-0.99
Mucha lluvia en 3 meses o menos	1.00-1.19
Extrema, casi toda la lluvia en 1-2 meses	≥ 1.20

Fuente: Walsh y Lawler (1981).

El *SI* se integra como criterio porque determina la concentración de la precipitación en un periodo de tiempo dado, es decir, proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad de la lluvia (Kannellopoulou, 2002; Walsh y Lawler, 1981) y así poder relacionarla con eventos de deslaves (Ye *et al.*, 2017).

En comparación con otros índices (Cornejo-Ayala, 2006), que pueden subestimar la caracterización, el *SI* define los contrastes de lluvia con más detalle debido a su mayor número de clasificaciones. Los valores altos indican que la precipitación se concentra en menos meses. Si la precipitación es más estacional, ésta se relaciona con más eventos de lluvias torrenciales, que a su vez están asociados a eventos de deslaves.

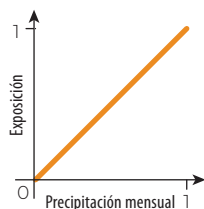
Variable 2.1. Precipitación mensual

Por medio del cálculo de la precipitación mensual se puede caracterizar su ciclo anual, el cual permite conocer la distribución de las lluvias

a lo largo del año. Es decir cuáles meses son secos y cuáles húmedos, siendo estos últimos los más propensos a la ocurrencia de precipitaciones las cuales pueden ocasionar deslaves. En una gran parte del territorio nacional, la temporada de lluvias se presenta en la mitad del año, durante los meses de mayo a octubre, excepto en un área del noroeste donde predominan las lluvias en invierno. En la vertiente del Océano Pacífico, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de Baja California, la vertiente del Golfo de México, la región noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes elevadas de las montañas del sur del país, se presenta un máximo de precipitación durante septiembre, lo cual coincide con la temporada de ciclones tropicales. En las cuencas interiores del sur, así como en la Altiplanicie Mexicana, el máximo ocurre en los meses de junio o julio. En el extremo noroeste del territorio se tiene un régimen de lluvias con máximo en diciembre o enero. Mientras que las zonas del norte, noreste y noroeste de la porción continental tienen un régimen de lluvias uniformemente distribuidas (García, 2003).

Valor de función

A mayor precipitación mensual, mayor exposición.



Observaciones

La precipitación mensual se utilizó como insumo para calcular el índice de estacionalidad así como el promedio anual. Se aplicó para los datos observados en el periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INECC (2017). *Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático*. WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal*. Marco Geoestadístico Nacional [shapefile].

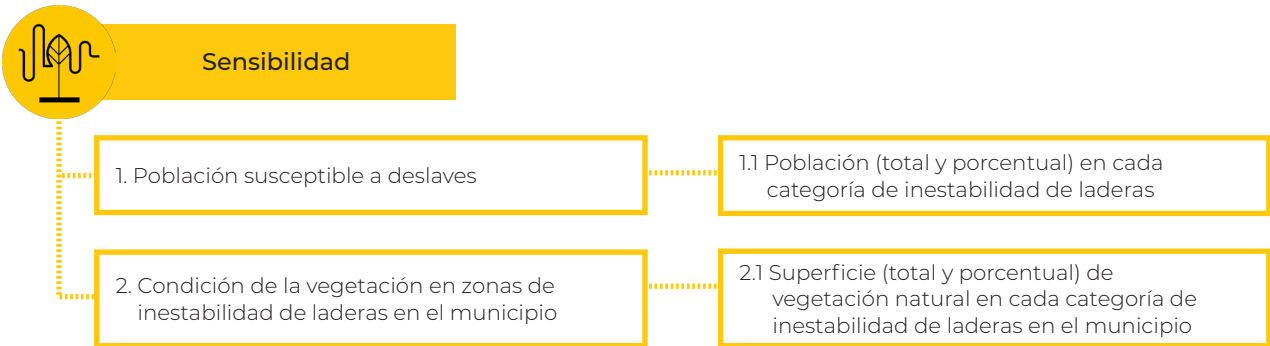
Variable 1.2

1. CENAPRED (s.f.). *Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas* [shapefile].
2. INEGI (2010). *División política municipal*. Marco Geoestadístico Nacional [shapefile].

Variable 2.1

1. INECC (2017). *Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático*. WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal*. Marco Geoestadístico Nacional [shapefile].

Sensibilidad



Criterio 1. Población susceptible a deslaves

Los deslaves son de alta preocupación cuando hay asentamientos humanos en zonas inestables, por lo tanto es importante establecer cuánta población puede ser afectada por este tipo de eventos. Los deslaves han causado cuantiosos daños materiales y han cobrado cientos de vidas humanas, especialmente en los estados de Baja California, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz (CENAPRED, 2004). Para evaluar la sensibilidad se debe identificar las zonas susceptibles a inestabilidad de laderas en los municipios, así como la población asentada en esas áreas.

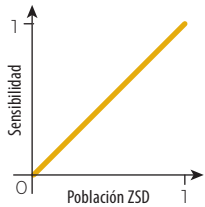
Variable 1.1. Población (total y porcentual) en cada categoría de inestabilidad de laderas

Las comunidades que se encuentran al pie o sobre las laderas y montañas (en zonas urbanas o rurales) tienen un mayor riesgo por deslaves (EE, s/f). Este tipo de eventos genera pérdidas de vidas humanas e infraestructura,

por lo tanto es necesario identificar las poblaciones que se encuentran en las zonas susceptibles a deslaves. En México el peligro por deslaves podría afectar a 283 municipios en donde habitan 4 millones de personas (Gobierno de la República, 2013).

Valor de función

A mayor población asentada en zonas susceptibles a deslaves (ZSD), mayor sensibilidad.



Observaciones

Esta variable se calcula como la proporción entre el porcentaje de población y la población total (valor relativo) en los municipios, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Condición de la vegetación en zonas de inestabilidad de laderas en el municipio

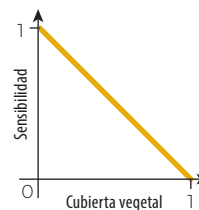
Hay varios estudios en los que la vegetación juega un rol importante para determinar la ocurrencia de deslizamientos (Kirschbaum, Stanley, y Yatheendradas, 2016; Peduzzi, 2010; Petley et al., 2007; Stanley y Kirschbaum, 2017; Van Beek y Van Asch, 2004). La vegetación intercepta la precipitación antes de que alcance la superficie del suelo, la mayor parte de esta precipitación se evapora a la atmósfera y la que llega al suelo se puede infiltrar por el efecto de las raíces, mismas que mantienen la estructura de los suelos para evitar la erosión.

Variable 2.1. Superficie (total y porcentual) de la vegetación natural en cada categoría de inestabilidad de laderas en el municipio

La presencia de vegetación ayuda a la infiltración de agua de lluvia evitando la erosión del suelo y reduciendo la inestabilidad de laderas. Es necesario identificar las zonas de los municipios con presencia de vegetación para determinar cuán susceptibles son ante algún potencial de deslizamientos. Se calculó la proporción entre el porcentaje de superficie con vegetación natural y la superficie total de la misma en los municipios permite no sobrestimar o subestimar valores.

Valor de función

A menor proporción de superficie con cubierta de vegetación natural, mayor susceptibilidad a sufrir daños por este fenómeno.



Observaciones

Para calcular esta variable, se utilizó la información de la capa de uso de suelo y vegetación de INEGI Serie V, la capa de ZSD del CENAPRED y la capa de límites municipales. Las capas contienen un conjunto de polígonos que representan la superficie cubierta por vegetación natural ubicada en ZSD. A continuación se describe el procedimiento general de cálculo:

1. Se asignó una categoría de peligrosidad de 1 (menos peligrosidad a deslizamientos) a 4 (máxima peligrosidad) a cada municipio donde se ubica el polígono con vegetación natural en ZSD.
2. Se obtuvo la superficie total del municipio, expresada en km², cubierta de vegetación natural y ubicada en una ZSD de cualquier categoría.
3. El porcentaje y total de la superficie cubierta por vegetación natural para cada categoría de ZSD por municipio se realizó de la siguiente manera:

$$\frac{A1}{A2} * 100$$

donde:

A1 = Área de cada polígono, en km², de la superficie ocupada por vegetación

natural que se encuentra ubicada en cada una de las categorías de peligrosidad de las ZSD en cada municipio.

A2 = Superficie total del municipio, en km², cubierta de vegetación natural y ubicada en cualquier ZSD.

4. Se multiplicó el porcentaje por el valor de ranqueo del campo de categoría de peligro.
5. Se obtuvo el valor de la variable para cada uno de los municipios; resultado de sumar el valor anterior (punto 4) de los polígonos que pertenecen al mismo municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

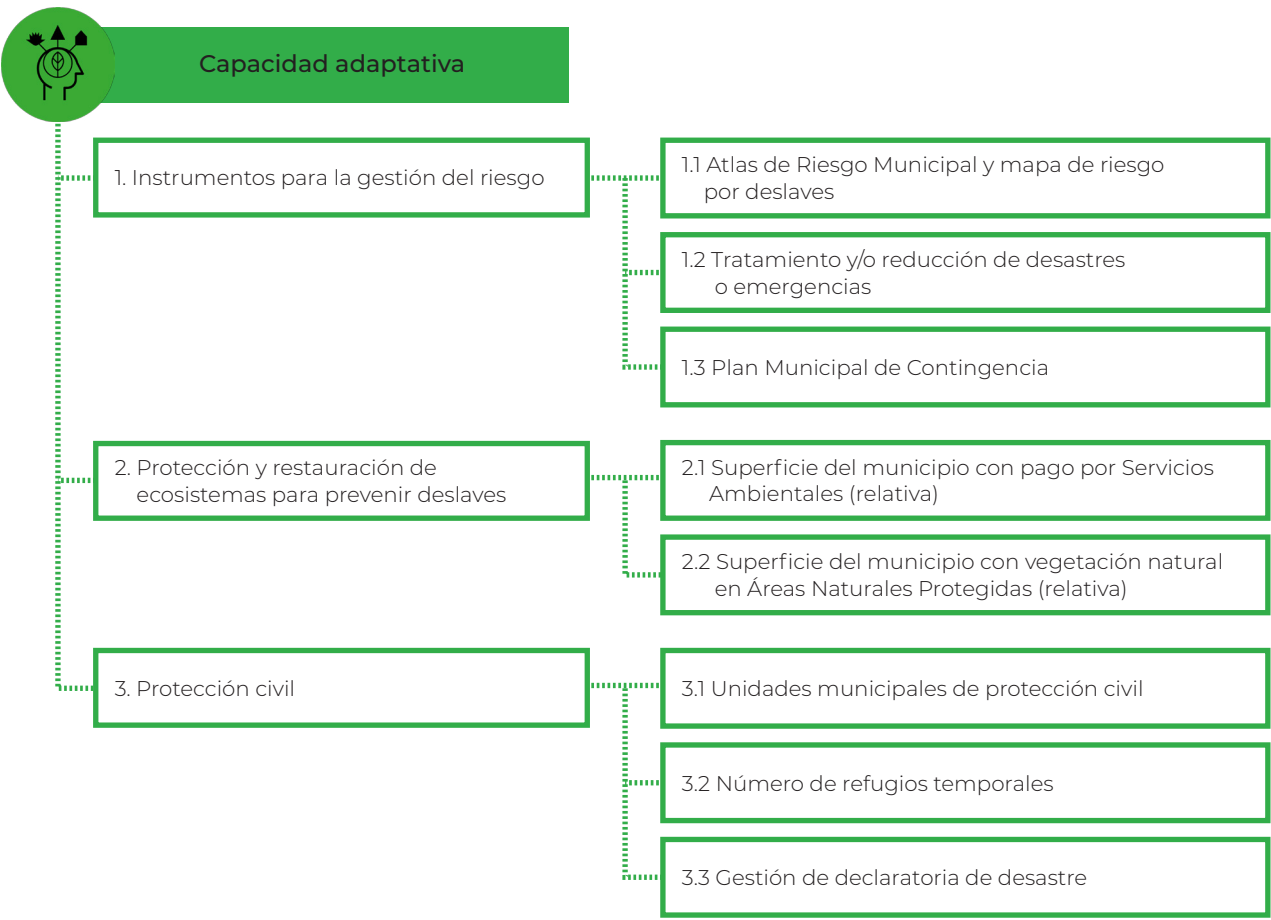
Variable 1.1

1. CONAGUA (2010). *Cuencas Hidrológicas* [shapefile].
2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].
3. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].
4. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca*. [shapefile].
5. CENAPRED (s.f.). *Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas* [shapefile].

Variable 2.1

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. CENAPRED (s.f.). *Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas* [shapefile].
3. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Instrumentos para la gestión del riesgo

Los deslaves, ocasionados por precipitaciones intensas, causan daños y pérdidas por lo que adquieren una connotación de peligrosidad, la cual es importante cuando se involucran los asentamientos humanos ubicados en áreas vulnerables de potencial afectación (Narváez *et al.*, 2009). Para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados a deslaves es necesario integrar mecanismos de gestión del riesgo. En este sentido, los instrumentos para

la gestión del riesgo, son importantes porque consideran la formulación de planes y programas dirigidos a implementar medidas de prevención y respuesta ante posibles desastres. Por lo que es fundamental el fortalecimiento de las capacidades de los municipios en materia de prevención de riesgos, a través de obras y acciones que reduzcan la vulnerabilidad de la población ante los desastres provocados por eventos como los deslaves (Ulloa, 2011).

Variable 1.1. Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por deslaves

Es una herramienta que apoya en la gestión del riesgo, al identificar las zonas susceptibles a deslaves en un municipio y la afectación a la población. Con base en el análisis territorial, promueve medidas de prevención para la seguridad de la población e infraestructura.

Valor de función

- 0 - No tiene atlas de riesgo municipal.
- 1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no tiene mapa de deslaves.
- 2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y tiene mapa de deslaves.

Aumenta la capacidad adaptativa de la población ante deslaves si se cumple 1 y 2.

Observaciones

Los deslaves son fenómenos de tipo geológico. En este análisis se evaluaron los relacionados a la saturación del suelo ocasionada por lluvias intensas y frecuentes y no a los sismos.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Tratamiento y/o reducción de desastres o emergencias

Acciones de prevención derivadas del Programa de Protección Civil, con las que cuentan las administraciones públicas municipales y alcaldías. La atención de este rubro dentro del programa contribuye a promover la mejora continua en las prácticas de preparación, respuesta

y recuperación para casos de desastre en la población, en este caso ante deslaves.

Valor de función

- 0 - Indica que no se cuenta con acciones de prevención en el tratamiento y/o reducción de desastres o emergencia.
- 1 - Indica que se cuenta con acciones de prevención en el tratamiento y/o reducción de desastres o emergencia.

Observaciones

La clasificación de los municipios y las alcaldías de la Ciudad de México se hizo de acuerdo al Programa de Protección Civil al cierre del año 2014.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.3. Plan Municipal de Contingencia

Es un instrumento de planeación con el que disponen las autoridades Municipales de Protección Civil para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a las situaciones de emergencia causadas por fenómenos perturbadores de origen natural o humano (INAFED, s/f).

Valor de función

- 0 - No se cuenta o no se sabe si se cuenta con un Plan Municipal de Contingencia.
- 1 - Indica que se cuenta o está en proceso un Plan Municipal de Contingencia.

Observaciones

La clasificación en la base de datos es:

0 - Indica que no se cuenta con un Plan Municipal de Contingencia.

1 - Indica que se cuenta con un Plan Municipal de Contingencia.

2 - Indica que se encuentra en proceso el Plan Municipal de Contingencia.

3 - Indica que no se sabe si se cuenta con un Plan Municipal de Contingencia.

Los valores 0, 2 y 3 se agruparon al valor 0, para indicar que no se cuenta con un Plan de Contingencias.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir deslizamientos

El crecimiento poblacional, junto con los desarrollos industriales y urbanos, provocan la transformación del paisaje natural, así como extensas superficies de ecosistemas pueden ser degradadas o transformadas en campos agrícolas, pastizales para ganado y zonas urbanas y rurales (CONAFOR, 2009); a medida que se afectan los servicios de los ecosistemas, el número de desastres puede aumentar (Pabon-Zamora *et al.*, 2008).

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y la protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos (OEA, 2008). Por ejemplo, los bosques y las selvas ayu-

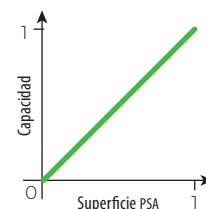
dan a conservar y proteger las zonas expuestas a precipitaciones. Las raíces profundas de los árboles funcionan mucho mejor que otro tipo de vegetación para prevenir deslizamientos (Manson, 2004), porque pueden estabilizar el terreno sobre todo en terrenos de laderas.

Variable 2.1. Superficie del municipio con Pago por Servicios Ambientales (relativa)

Se consideran las áreas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Las cuales representan la presencia de criterios en las masas forestales que promueven la conservación en el contexto de instrumentos económicos diseñados para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficie a la sociedad (CONANP, 2010).

Valor de función

A mayor porcentaje de superficie elegible para el esquema de PSA, mayor capacidad adaptativa ante deslizamientos.



Observaciones

A través de estudios e investigaciones realizados por la CONAFOR, se definen las áreas elegibles en ecosistemas forestales de México. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con PSA, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

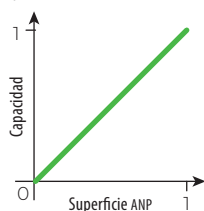
Municipio.

Variable 2.2. Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativa)

Se considera que la vegetación es la mejor manera de proteger el suelo contra los deslizamientos, ya que cumple tres funciones básicas: sus raíces sirven de matriz estabilizadora del suelo, regula la cantidad de agua impidiendo que se ablande internamente y evita que el agua forme flujos de lodo (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018). Por lo tanto, los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos (OEA, 2008). Un municipio con la vegetación natural bajo el esquema de protección de áreas naturales protegidas tendrá una mejor conservación y por tanto terrenos con menos asentamientos humanos en zonas de laderas susceptibles a deslizamientos.

Valor de función

A mayor porcentaje de superficie del municipio con vegetación natural en ANP, mayor capacidad adaptativa ante deslaves.



Observaciones

Se consideran Áreas Naturales Protegidas federales. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área de vegetación natural del municipio con ANP, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Protección civil

Debido a que la ocurrencia de eventos como los deslaves en asentamientos humanos pueden provocar pérdidas económicas, de vidas humanas e infraestructura, surge la necesidad de adoptar medidas que permitan actuar de manera preventiva ante el desastre, de saber cómo enfrentarlo cuando se presenta y cómo recuperarse (CENAPRED, 2014). Ante estos hechos, la protección civil garantiza la seguridad y el bienestar de los ciudadanos, para construir una resiliencia económica y social tras el desastre (OCDE, 2013).

La existencia de unidades de protección civil y la capacitación en este rubro permite hacer frente a los efectos adversos de los desastres por fenómenos naturales y especialmente por deslaves; al contar con personal capacitado es posible dar una mejor respuesta ante las emergencias (OCDE, 2013). Asimismo, los programas de protección civil o planes de contingencia con los que cuentan los municipios y las alcaldías inciden en el aumento de la capacidad de respuesta ante deslaves.

Variable 3.1. Unidades municipales de protección civil

La existencia de unidades de protección civil y la capacitación en este rubro, permite hacer frente a los desastres por fenómenos naturales y especialmente por deslaves (OCDE, 2013).

Valor de función

0 - Indica la ausencia de unidades de protección civil en el municipio.

1 - Indica la existencia de unidades de protección civil en el municipio.

Unidad de agregación

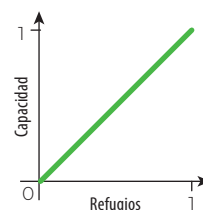
Municipio.

Variable 3.2. Número de refugios temporales

Antes y después de la ocurrencia de un deslave en una comunidad, es necesario asegurar la protección de los habitantes. En este caso los refugios temporales juegan un papel fundamental, ya que en ellos se brinda protección y bienestar de forma inmediata a la población que no tiene posibilidades de acceso a una habitación en caso de un siniestro por deslaves (CENAPRECE, 2015). Si una comunidad cuenta con refugios temporales, tendrá mayor capacidad adaptativa ante un deslave.

Valor de función

A mayor número de refugios temporales en el municipio, mayor capacidad adaptativa ante deslaves.



Unidad de agregación

Municipio.

Variable 3.3. Gestión de declaratoria de desastre

Ante un desastre natural, una entidad federativa podrá solicitar una declaratoria de desastre, la cual es una manifestación pública que realiza la Secretaría de Gobernación a solicitud de la entidad afectada sobre la ocurrencia de algún fenómeno natural perturbador en un tiempo y lugar determinados, que causaron daños en las viviendas, servicios e infraestructura. La declaratoria de desastre es un requisito indispensable para que las entidades federativas tengan acceso a los recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y así puedan iniciar con la reconstrucción de los daños ocasionados por el fenómeno natural (DGGR, 2014).

Es importante que las entidades federativas en todos sus niveles tengan conocimiento del procedimiento administrativo para tramitar una declaratoria de desastre y así recibir fondos que ayuden a la reconstrucción.

Valor de función

0 - Indica que no cuenta con declaratorias de desastre y por tanto no tiene capacidad de gestión ante deslaves.

1 - Indica que el municipio cuenta con declaratorias de desastre y por tanto tiene capacidad de gestión ante deslaves.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CENAPRED (2010-2018). “Cobertura de Atlas Municipales” [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2014). “Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Variable 1.3

1. INEGI (2014). “Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Variable 2.1

1. CONAFOR (2015-2018). *Pago por servicios ambientales*. [shapefile].

Variable 2.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. CONANP (2010). *Áreas Naturales Protegidas*. [shapefile].
3. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas*. [shapefile].

Variable 3.1

1. INEGI (2014). “Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

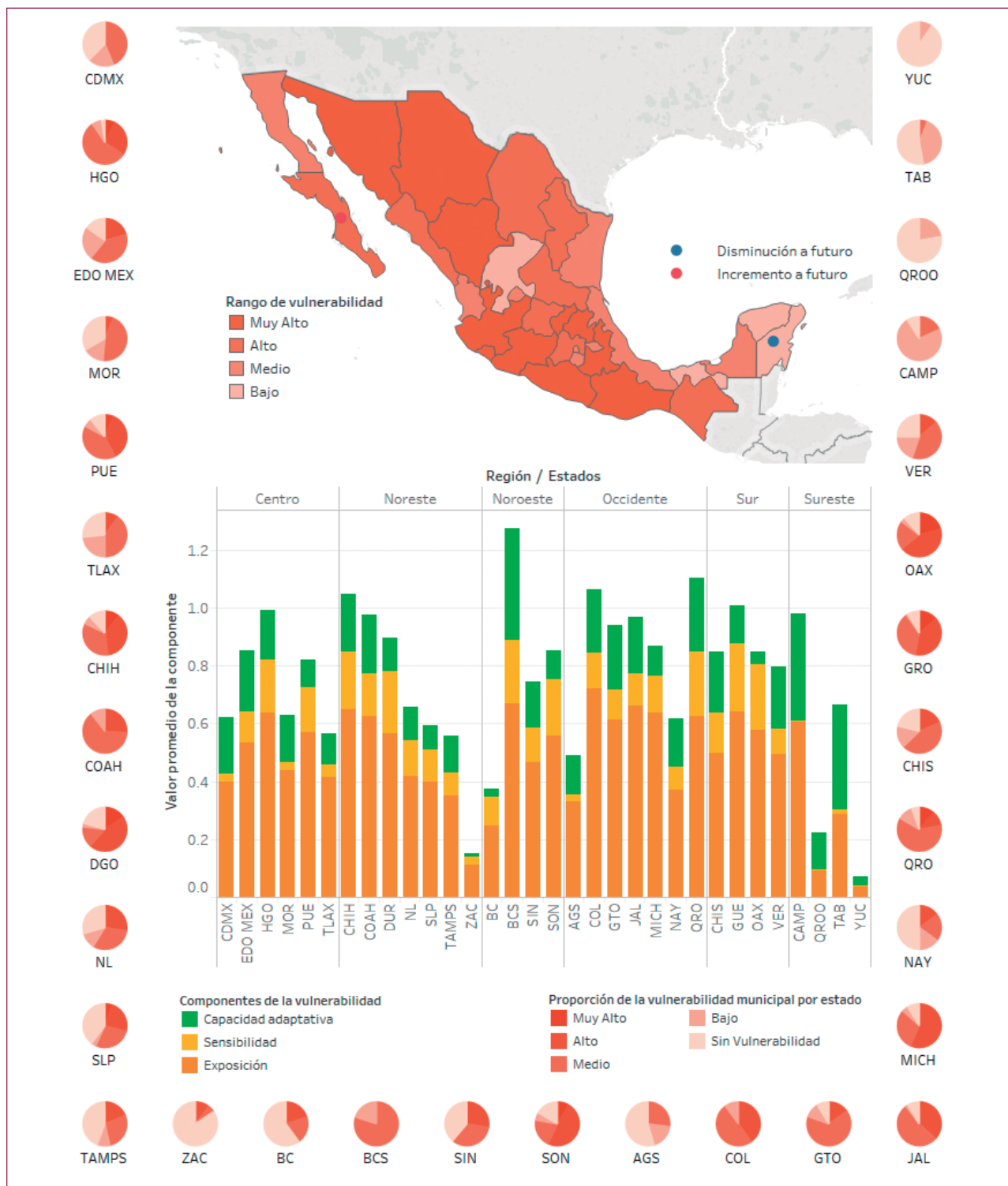
Variable 3.2

1. INEGI (2015). *Albergues. Censo de Alojamientos de Asistencia Social*. [archivo de texto csv].

Variable 3.3

1. CENAPRED (2000-2016). “Declaratorias sobre emergencia, desastre y contingencia climatológica a nivel municipal entre 2000 y 2016”. [archivo de texto csv].

Mapa 6.1. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos por deslaves



En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de los asentamientos humanos por deslaves por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura, y el punto azul indica una disminución potencial de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alta a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Referencias

- Alaman, C., Río, R. del, Maceo, B. y Arenas, C. (2013). *Capacitar para la reducción del riesgo en emergencia y desastres*. España: Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Recuperado de: <http://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/CaribeHerramientasydocumentos/Educacion/CapacitarParalaReducciondelRiesgoenEmergenciayDesastres.pdf>
- CENAPRECE (2015). 4. Refugios temporales. En Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (Ed.), *Manual de Atención a la Salud ante Desastres*. México: Secretaría de Salud. Recuperado de: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/emergencias/descargas/pdf/ManualRefugiosTemporales.pdf>
- CENAPRED (2004). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres (AR1, serie Atlas Nacional de Riesgos).
- CENAPRED (2013). *Atlas Nacional de Riesgos: Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres/Secretaría de Gobernación. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/inestabilidad-laderas.html>
- CENAPRED (2014). *Manual de Protección Civil*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CONAFOR (2009). *Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores*. México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/579Restauración%20de%20ecosistemas%20forestales.pdf>
- CONAGUA (2016). *Estadísticas del agua en México 2016*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- CONANP (2010). *Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas*. México: Comisión Nacional de Áreas Protegidas. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-pago-por-servicios-ambientales-en-areas-naturales-protegidas?idiom=es>
- Cornejo-Ayala, F. N. (2006). Análisis del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones.

- nes en la séptima región del Maule, (tesis de licenciatura). Chile: Universidad de Talca. Recuperado de: http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/cornejo_ayala_f.pdf
- DGGR (2014). *Dirección General para la Gestión de Riesgos*. México: Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Fonden>
- Domínguez Morales, L., Castañeda Martínez, A. y González Huesca, A. E. (2016). *Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas*. México: CENAPRED, Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitacionales.
- EE (s/f). What is a Landslide? Earth Eclipse. Disponible en: <https://www.earthclipse.com/natural-disaster/causes-effects-and-types-of-landslides.html>.
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 50:67-76.
- Gobierno de la República (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático, Visión 10-20-40*. México: Gobierno de la República.
- INAFED (s/f). *Guía técnica. Prevención y atención de contingencias a nivel municipal*. México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado de: http://www.inafed.gob.mx/work/models/inafed/Resource/335/1/images/guia24_prevenccion_y_atencion_de_contingencias_a_nivel_municipal.pdf
- Kanellopoulou, E. A. (2002). Spatial distribution of rainfall seasonality in Greece. *Weather* 57(6): 215-219. Doi: <https://doi.org/10.1256/004316502760053576>
- Kirschbaum, D., Stanley, T. y Yattheendradas, S. (2016). Modeling landslide susceptibility over large regions with fuzzy overlay. *Landslides* 13(3):485-496. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0577-2>
- Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Méndez González, J., Nívar Cháidez, J. J. y González Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 65:38-55.
- Narváez, L., Lavell, A. y Pérez Ortega, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres; un enfoque basado en procesos*. Lima, Perú: Secretaría General de la Comunidad Andina.
- NASA (s/f). Precipitation Measurement Missions. Landslides. Recuperado de: <https://pmm.nasa.gov/applications/landslides>
- OEA (2008). *Guía conceptual y metodológica para el diseño de esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe* (Documento borrador). Arlington, Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Sostenible.
- OECD (2013). Principales peligros generados por fenómenos naturales y vulnerabilidades. En *Estudio de la OCDE sobre el Sistema Nacional de Protección Civil en México* (pp. 29-60). Francia: OECD Publishing. Doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200210-es>
- Pabon-Zamora, L., Bezaury, J., Leon, F., Gill, L., Stolton, Groves, A., Mitchell, S. y Dudley, N. (2008). *Valorando la naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas*. Estados Unidos: The Nature Conservancy. Recuperado de: <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf>
- Peduzzi, P. (2010). Landslides and vegetation cover in the 2005 North Pakistan earthquake: a GIS and statistical quantitative approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10:623-640. Recuperado de: www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/623/2010/
- Petley, D. N., Hearn, G. J., Hart, A., Rosser, N. J., Dunning, S. A., Owen, K. y Mitchell, W. A. (2007). Trends in landslide occurrence in Nepal. *Natural Hazards* 43(1):23-44. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9100-3>
- Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40(10):927-930. Doi: <https://doi.org/10.1130/G332171>
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2018). *Planes y Programas: Deslaves*. Ecuador.
- SEGOB (2014a). *Modelo de Programa de Protección Civil para estados, municipios y delegaciones*. México: Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/2118/1/images/MPPC3.pdf>
- SEGOB (2014b). *Modelo de Plan de Contingencia para estados, municipios y delegaciones*. Méxi-

co: Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/2118/1/images/MPL2.pdf>

Stanley, T. y Kirschbaum, D. B. (2017). A heuristic approach to global landslide susceptibility mapping. *Natural Hazards* 87(1):145-164. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2757-y>

Ulloa, F. (2011) El entorno y la gestión del riesgo de desastre. En *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*. Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la

Ciencia y la Cultura. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf>

Van Beek, L. P. H. y Van Asch, T. W. (2004). Regional Assessment of the Effects of Land-Use Change on Landslide Hazard By Means of Physically Based Modelling. *Natural Hazards* 31(1):289-304. Doi: <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020267.39691.39>

Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time. *Weather* 36(7), 201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>



7

Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue





Ficha técnica

Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue

Grupo de trabajo:	Población
Objeto vulnerable:	Asentamientos humanos
Unidad de agregación:	Municipal

El dengue es una enfermedad causada por un virus que pertenece a la familia *Flaviviridae*. Es un arbovirus (Arthropod-Borne-Virus), es decir que es transmitido por artrópodos, a través de una picadura por mosquitos del género *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Las zonas aptas para su desarrollo son los climas tropicales y subtropicales (Uribarren Berrueta, 2018; OMS, 2017; Dantés *et al.*, 2014), donde las heladas o el frío prolongado no mata a los transmisores ni daña a los huevos depositados o a las larvas durante el invierno (Githeko *et al.*, 2001). La variabilidad del clima puede acelerar la proliferación del virus, ya que variables como la temperatura y la precipitación afectan la distribución y abundancia de la enfermedad, a través de impactos biofísicos sobre el vector y el virus (Githeko *et al.*, 2001; Butterworth *et al.*, 2017). Temperaturas locales apropiadas, grandes concentraciones de población, conectividad y altos niveles de precipitación están asociados con la elevación del riesgo por dengue, incluso en algunos sitios el dengue está relacionado con la humedad y la presión del vapor (Bhatt *et al.*, 2013; Estallo *et al.*, 2015; Barcellos y Lowe, 2014).

El virus también está asociado a los ambientes urbanos domésticos, a los hábitos de la población y la carencia de servicios básicos como el suministro de agua y la falta de recolección de residuos en la vivienda. El mosquito transmisor del dengue se ha adaptado al ámbito humano, con criaderos, hábitats, fuentes de alimentación y desplazamientos activos y pasivos ligados al entorno domiciliario (Secretaría de Salud, 2008).

México es un país que presenta condiciones favorables para la proliferación del dengue, ya que cerca del 60% del territorio nacional es apto para enfermedades transmitidas por vector, convirtiéndose en un problema de salud pública (San Martín *et al.*, 2010; Secretaría de Salud, 2008). La rápida urbanización durante los pasados 20-30 años ha fomentado el esparcimiento de la enfermedad del dengue en México (Díaz y Waldman, 2006). De acuerdo con Torres-Galicia *et al.* (2014), el dengue ha aumentado durante la última década en las regiones Pacífico y Golfo de México, afectando a las regiones con población principalmente rural e indígena, con un incremento de incidencia en la población juvenil

y pediátrica y una mayor duración de brotes durante el año.

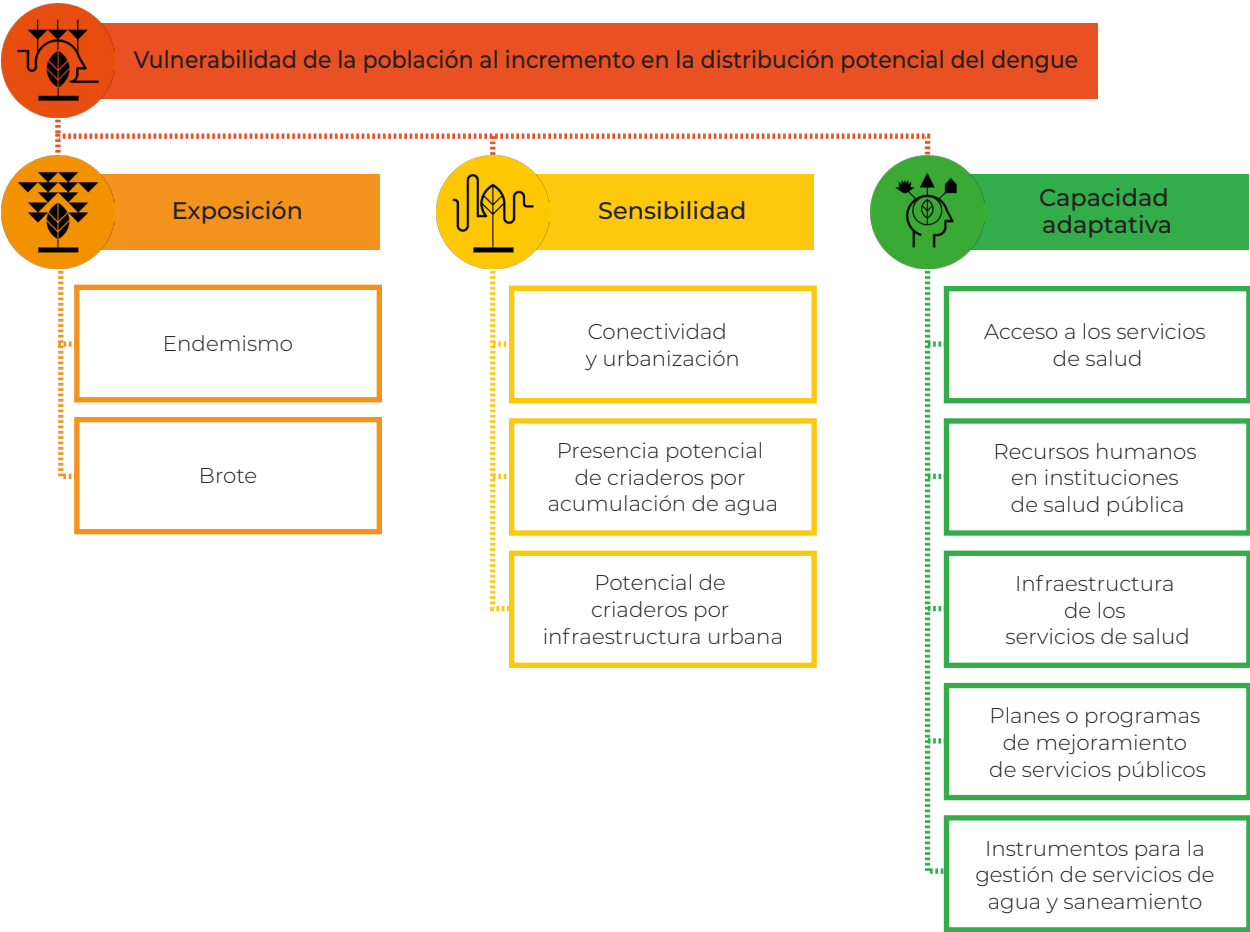
La enfermedad del dengue tiene impactos sociales y económicos, como la inestabilidad familiar causada por el riesgo de adquirir la enfermedad, la pérdida de vidas humanas, el ausentismo escolar, los costos médicos y no médicos para el tratamiento de la enfermedad y los gastos de los gobiernos para el con-

trol (Kusriastuti y Sutomo, 2005). Para el control efectivo del dengue, se requieren propuestas integrales que incorporen factores ambientales y sociales en el manejo del vector. Las políticas y los programas efectivos, los mecanismos de financiamiento y la cooperación en todos los sectores y la población son esenciales en la erradicación de esta enfermedad (Tapia-Conyer *et al.*, 2012a y b).

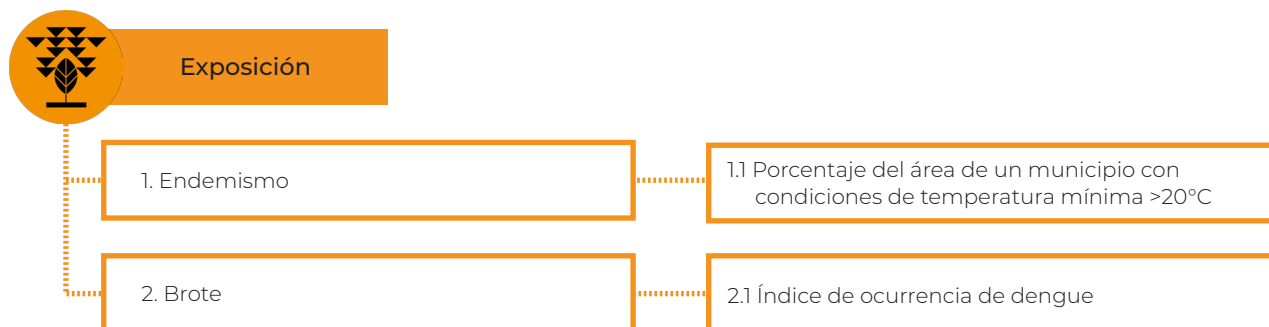


▲ Fumigación para el control de plagas. Tomada de: <https://www.gob.mx/chikungunya-dengue/galerias/en-marcha-la-1-jornada-nacional-de-lucha-contra-el-dengue-zika-y-chikungunya-103044>

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1. Endemismo

Una enfermedad endémica es aquella que se presenta constantemente en un área geográfica o en un grupo de población; es decir, la prevalencia usual de una enfermedad en un área o conjunto determinado (Torrado *et al.*, 2000). América Latina, el Sureste de Asia y África Central son consideradas como regiones endémicas del dengue, afectando a grandes y pequeñas ciudades (Gubler, 2002; Hota, 2014). Para entender la dinámica del dengue, es necesario comprender cómo responde a las condiciones ambientales (Huber *et al.*, 2018). Las temperaturas cálidas, altos niveles de precipitación y humedad son condiciones características y propicias para el desarrollo del dengue, puesto que en latitudes altas donde las temperaturas son más frías o frescas la ovoposición es baja, además de que las larvas y huevecillos de los mosquitos no logran desarrollarse (Gubler, 2002; Hota, 2014; Estallo *et al.*, 2011). El factor endémico de la enfermedad juega un papel fundamental, ya que siempre pueden existir las condiciones latentes; sin embargo, es posible evitar los brotes con medidas de prevención.

Variable 1.1. Porcentaje del área de un municipio con condiciones de temperatura mínima >20°C

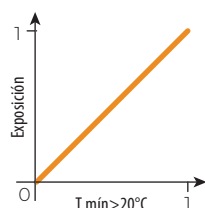
La temperatura juega un rol relevante en el endemismo del vector del dengue; las temperaturas cálidas son perfectas para su desarrollo, por lo que por sus condiciones climáticas, los lugares en los trópicos y subtrópicos son susceptibles a la presencia de la enfermedad. En particular, la temperatura mínima influye en el desove de los huevecillos del mosquito; es decir, con temperaturas mínimas cálidas los mosquitos desovan una mayor cantidad de huevos, lo que implica una mayor población de moscos (Estallo *et al.*, 2015).

De acuerdo a los trabajos realizados por Choi *et al.* (2016), Ebi y Nealon (2016), Hopp *et al.* (2003), Hurtado-Díaz *et al.* (2007), Sarfraz *et al.* (2014) y Hii *et al.* (2012), la temperatura representó la variable más importante para explicar la distribución del dengue, en especial el incremento en las temperaturas mínimas, donde el rango de temperatura ideal para la proliferación del mosquito y el virus se encuentra entre los 20 y los 40°C.

Es necesario calcular el porcentaje del área de cada municipio con estas condiciones de temperatura mínima para determinar las condiciones de endemismo del dengue.

Valor de función

A mayor porcentaje de área con condiciones de temperatura mínima $>20^{\circ}\text{C}$, mayor exposición a la presencia del dengue.



Observaciones

Se calculó el porcentaje de área con temperatura promedio mínima anual $T_{\text{mín}} > 20^{\circ}\text{C}$. Se aplicó para los datos observados en un periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Brote

El dengue es sensible a las condiciones climáticas de un lugar, por lo que es importante entender cómo es que éstas cambian, ya que afecta a la reproducción del vector y su potencial de dispersión geográfica (Liu-Helmersson *et al.*, 2014). Los periodos cálidos prolongados y la elevación de la precipitación acumulada son importantes precursores del brote de den-

gue (Banu *et al.*, 2011). De acuerdo con Sarfraz *et al.* (2014), los brotes de dengue (no sólo la presencia) tienen una mayor relación con el incremento de temperatura (máxima, mínima y media) que con la precipitación.

Además, en aquellos lugares donde se tiene una tendencia de incremento de temperatura es posible que la estacionalidad del vector se amplíe, es decir, que no sólo se presente en condiciones de meses cálidos (verano), sino que se pueda extender al invierno, por la ocurrencia de temperaturas más cálidas (Hales *et al.*, 2002).

Variable 2.1. Índice de presencia de dengue

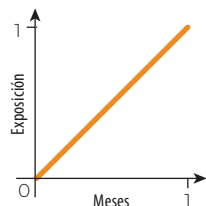
Variables como la temperatura y la precipitación influyen en el desarrollo y la dispersión del dengue. Sáez (2006) encontró que aunque puede existir una relación entre la ocurrencia de los casos de dengue con la temperatura y la precipitación evaluadas de manera independiente, existe una mayor correlación entre estas variables y los casos de dengue al considerarse de manera conjunta. Aunque la temperatura es el mayor detonador para el brote de dengue, hay que tomar en cuenta que la precipitación favorece el desarrollo de los huevecillos de los moscos, ya que estos requieren estar sumergidos en el agua para su desarrollo. Las precipitaciones dejan muchas áreas factibles para criaderos (Sarfraz *et al.*, 2014), favoreciendo la dispersión del vector y por tanto de la enfermedad en la población.

Para poder identificar o prevenir brotes de dengue en la población, es necesario determi-

nar cuándo se pueden presentar las condiciones de temperaturas cálidas y precipitaciones frecuentes de manera simultánea.

Valor de función

A mayor número de meses con temperatura mínima cálida y meses lluviosos, mayor exposición a la presencia de dengue.



Observaciones

Se consideraron aquellos meses donde ocurren dos condiciones:

1. Temperatura mínima mensual $>20^{\circ}\text{C}$
2. $P/Pm \geq 1$

donde:

P es la precipitación mensual

Pm es la precipitación media anual = (Precipitación acumulada anual)/12.

Se aplicó para los datos observados en el periodo 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INECC (2017). "Temperatura mínima 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].

Variable 2.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual y temperatura mínima 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional* [shapefile].

Nota aclaratoria

Se calculó la exposición para identificar aquellos municipios donde no se tendrán las condiciones para el desarrollo del dengue ni actuales ni futuras, donde la vulnerabilidad es nula. De esta manera se calculó la sensibilidad y capacidad adaptativa para los municipios restantes y se hizo la estandarización.

Sensibilidad



Criterio 1. Conectividad y urbanización

Cambios en el ambiente y la urbanización en un sitio, afectan de manera importante la ecología del *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* y su dispersión, causantes del dengue en la población. A pesar de que se ha considerado un vector rural, estas especies se han adaptado a los ambientes urbanos y suburbanos, en los cuales encuentran mayores hábitats para sus larvas, con un tiempo más corto de desarrollo y una mayor esperanza de vida. Por lo tanto, la urbanización incrementa el potencial de la presencia del dengue, la cual es resultado de una tendencia global del desarrollo económico (Li *et al.*, 2014).

Asimismo, la propagación del dengue en áreas urbanas se facilita debido a la movilidad hu-

mana; ya que la gente puede trasladarse libremente en grandes distancias comparadas con las que mosquitos pueden recorrer para esparcir la enfermedad. Incluso cuando una persona es picada por otros mosquitos, la enfermedad puede propagarse nuevamente (Abeyrathna *et al.*, 2016).

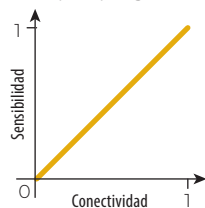
Variable 1.1. Conectividad entre las poblaciones.

La creación de vías de comunicación ha provocado la expansión de los asentamientos humanos, propiciando condiciones para la dispersión del dengue en comunidades (Larance *et al.*, 2009), tales como: crecimiento poblacional, urbanización no planeada con escasos sistemas sanitarios, deterioro de la infraestructura de la salud pública y poco acceso a los sistemas de salud (San Martín, 2010).

Estas condiciones pueden conducir a la población vulnerable hacia aquellas áreas donde el riesgo de infección del virus puede ser mayor. Un incremento de la incidencia del dengue se ha relacionado con el número de personas que migran hacia un nuevo lugar urbanizado con continuo crecimiento (Hemme *et al.*, 2010). De esta manera la conectividad entre poblaciones juega un papel relevante en la dispersión de la enfermedad.

Valor de función

A mayor conectividad entre la población, mayor susceptibilidad a la propagación del dengue.



Observaciones

Para este cálculo se hizo lo siguiente:

1. Se dividió la población total / superficie del área (km²) de cada municipio.
2. Una vez que se obtuvo la longitud total de las vías de comunicación dentro del municipio en km, se procedió a obtener la densidad de las vías de comunicación en el municipio (km / km²).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Urbanización y crecimiento de la población

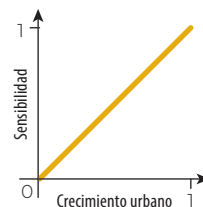
El dengue tiene dinámicas espaciales y temporales complejas, las cuales están influenciadas

por factores biológicos, humanos y ambientales (Enduri y Jolad, 2018).

La rápida urbanización, industrialización y colonización de una población facilitan el desarrollo de los mosquitos, ya que pueden encontrar las condiciones adecuadas para ello, siendo estos los detonantes para la propagación del dengue (Tripathi y Gupta, 2018). En México, la problemática del dengue se puede agravar por la concentración acelerada en zonas urbanas, hábitats a los cuales los mosquitos se han adaptado. Tan sólo la población rural pasó de 57.3% en 1950 a 23% en 2015 (CONAGUA, 2016b).

Valor de función

A mayor crecimiento de la población y urbanización, mayores áreas para criadero de mosquitos que favorecen el desarrollo del dengue.



Observaciones

1. El crecimiento urbano corresponde a la diferencia de superficie entre la Serie V (generada en el periodo 2011-2013) y la Serie I (elaborada en la década de 1980) de las cartas de Vegetación y Uso de Suelo, ambas provenientes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
2. El crecimiento urbano relativo corresponde al porcentaje de crecimiento con respecto a la superficie de asentamientos humanos y zonas urbanas en la Serie I.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Potencial de criaderos por acumulación de agua

Los mosquitos prefieren las aguas tranquilas para desovar, por lo tanto el agua acumulada en cualquier lugar disponible propicia su desarrollo (Johnsen, 2010).

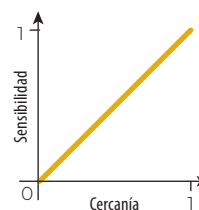
Los huevecillos necesitan estar sumergidos para desarrollarse, pero pueden sobrevivir por meses sin agua. La precipitación tiene un rol importante en el crecimiento del mosquito, pero no es fundamental, ya que en temporadas secas o zonas secas, el almacenamiento de agua puede convertirse en criadero (Sarfraz *et al.*, 2014). De esta manera, desde botes, llantas, o cualquier recipiente que acumule agua, hasta grandes cuerpos de agua son lugares potenciales para el desarrollo del vector. La población es mayormente susceptible si en su ambiente proliferan este tipo de criaderos.

Variable 2.1. Cercanía de cuerpos de agua

La población que se encuentra asentada cerca de algún cuerpo de agua (natural o artificial), es más susceptible a contraer la enfermedad del dengue, ya que el agua estática y tranquila es un lugar que los mosquitos prefieren para desovar y por tanto desarrollarse.

Valor de función

A mayor cercanía de cuerpos de agua, mayor presencia del vector del dengue.



Observaciones

Se estableció una zona de influencia con la población que habitaba a menos de 200 m de algún cuerpo de agua.

Unidad de agregación

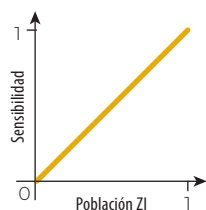
Municipio.

Variable 2.2. Susceptibilidad a inundaciones

Las inundaciones pueden aumentar indirectamente la presencia de enfermedades transmitidas por vectores, entre ellas el dengue, ya que pueden expandir el área de hábitats del mosquito. Aunque inicialmente una inundación puede arrastrar o lavar zonas donde el vector se reproduce, el agua estancada que queda posterior a ésta actúa como criadero potencial, ya que los mosquitos prefieren las zonas tranquilas para desovar. El riesgo de brote en una población aumenta si durante el evento de inundación la gente duerme al aire libre, si hay una pausa temporal en las actividades de control del mosquito, si existen hacinamientos o si hay contención del agua en los ríos (represas) (WHO, 2018; Johnsen, 2010).

Valor de función

A mayor población asentada en zonas inundables (ZI), mayor susceptibilidad a contagios por dengue.



Observaciones

Para el cálculo de esta variable se realizó lo siguiente:

1. Se calculó el número de habitantes (población) que viven en zonas susceptibles a inundaciones.
2. Posteriormente se calculó el porcentaje de la población del municipio que habita en zonas susceptibles a inundación.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Potencial de criaderos por infraestructura urbana

En México existe un cambio histórico demográfico significativo entre la población rural y la urbana, tan sólo entre el periodo de 1950-2015 se presentó una disminución de la población rural del 34.3%. Sin embargo, la cantidad de pequeñas comunidades rurales aún es alta, lo que complica la provisión de servicios debido a su dispersión territorial. Además, la concentración en zonas urbanas se ha acelerado, lo que implica fuertes presiones en el incremento de la demanda de servicios (CONAGUA, 2016b).

El rápido crecimiento urbano y la nula regulación pueden desencadenar una falta de servicios

públicos, y por lo tanto, una mayor proliferación del vector de dengue en dichas poblaciones. La falta de agua entubada en las viviendas es un detonante, ya que la población almacena agua en todo tipo de contenedores, los cuales son lugares donde los mosquitos pueden desovar y desarrollarse (Knudsen y Slooff, 1992).

Por otra parte, la falta de recolección de residuos sólidos en los hogares, también es un factor que promueve la propagación del dengue. Si no se tienen servicios de recolección y tiraderos adecuados para depositar los residuos sólidos, es más probable que la gente los deseché cerca de las viviendas, sobre la calle o en terrenos libres, provocando una acumulación de posibles lugares donde los mosquitos podrían desarrollarse. Por tal motivo, una población que no cuenta con servicios públicos básicos e infraestructura en sus comunidades, es más susceptible a ser contagiada por el vector (Alley, 2015).

Variable 3.1. Disponibilidad de agua entubada en el hogar

Se refiere a la población que tiene agua entubada dentro de su terreno o vivienda, de llave pública o hidrante o bien de algún otro domicilio. Al 2015, la cobertura nacional de agua entubada en la casa o predio fue de 94.4% (97.2% urbana, 85.0% rural) (CONAGUA, 2016b). Aunque esta cobertura es alta, aún existe población que no cuenta con este servicio y que es más susceptible si ésta se localiza en lugares donde se desarrolla el dengue. La falta de disponibilidad de agua en las viviendas conduce a la gente a acumularla en contenedores, los cuales son lugares propicios para el desarrollo del dengue.

Valor de función

A mayor disponibilidad de agua entubada en el hogar, menor susceptibilidad del dengue, debido a la disminución de agua en contenedores.



Observaciones

Para el cálculo de esta variable se realizó lo siguiente:

1. Se obtuvo el total de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.
2. Se calculó el porcentaje de viviendas sin agua entubada en el ámbito de la vivienda.

Unidad de agregación

Municipio.

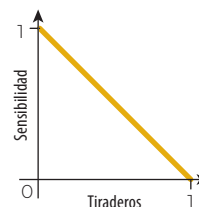
Variable 3.2. Acumulación de residuos sólidos

El aumento del consumo entre la población ha impactado significativamente en la cantidad de los residuos sólidos producidos. El incremento de los residuos y la inadecuada disposición final de los mismos tienen consecuencias ambientales negativas para la salud de la po-

blación y de los ecosistemas naturales. A pesar de los impactos negativos que se puedan tener, es muy común que los residuos se depositen y acumulen en espacios cercanos a las vías de comunicación o en depresiones naturales del terreno como cañadas, barrancas y cauces de arroyos (SEMARNAT, 2012). Estos lugares son propicios para el desarrollo y propagación del vector del dengue, por tanto, es esencial que haya sitios adecuados para la disposición final de los residuos sólidos.

Valor de función

A mayor número de lugares adecuados para la disposición final de los residuos sólidos, menor susceptibilidad para la propagación de criaderos del vector del dengue.



Observaciones

Para esta variable se identificó el número de sitios de disposición final a los que son remitidos los residuos que se recolectan en todo el municipio (Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, 2015).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].
2. INEGI (2016). *Conjunto de datos vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas*. [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. INEGI (1978-1991). *Uso de suelo y vegetación Serie I*, año de referencia 1985. [shapefile].

Variable 2.1

1. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

Variable 2.2

2. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

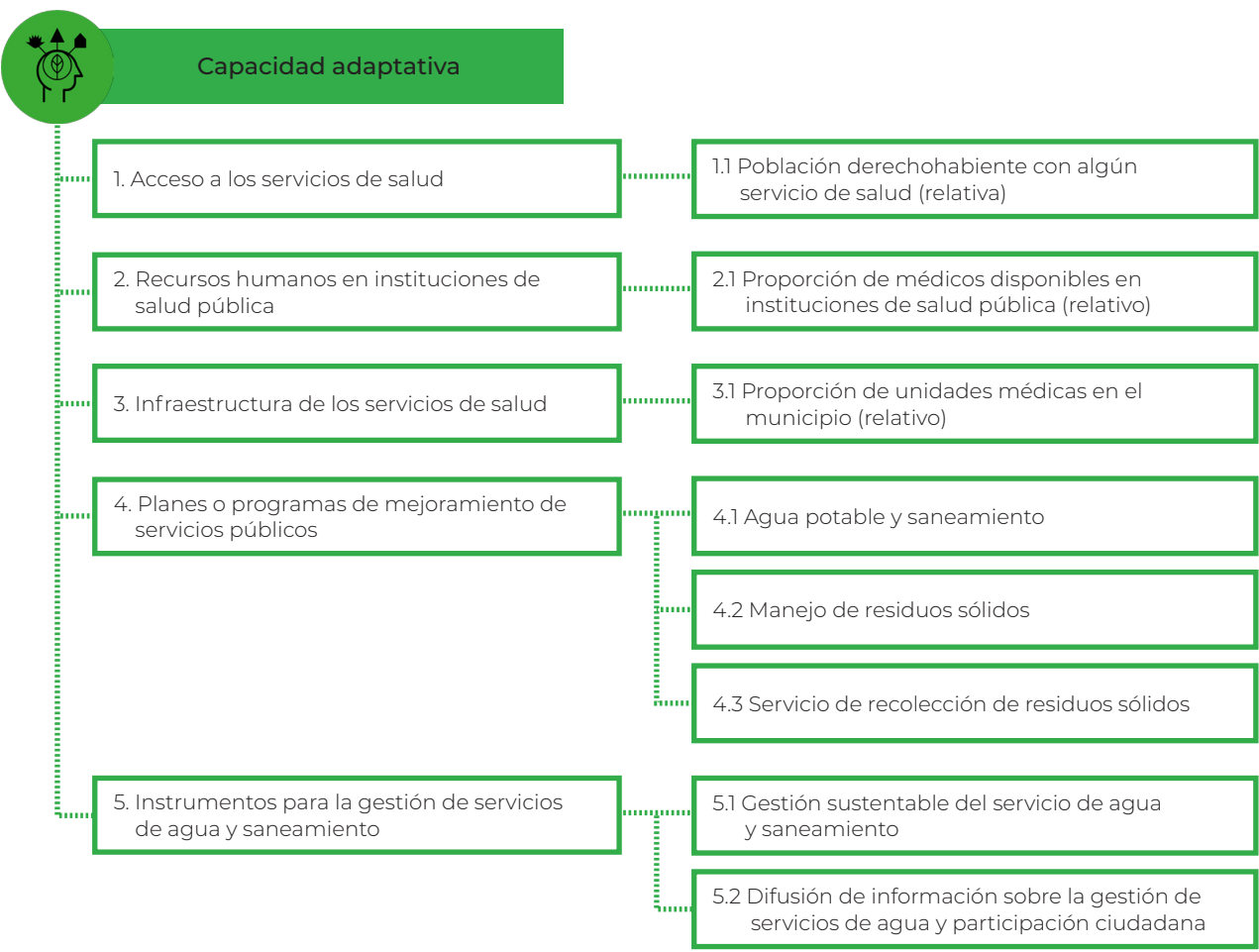
Variable 3.1

3. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

Variable 3.2

1. INEGI (2014). “Disposición final de los residuos sólidos urbanos. Residuos sólidos urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Acceso a los servicios de salud

Se requiere un diagnóstico temprano de la enfermedad del dengue para garantizar la pronta atención y por tanto disminuir la mortalidad de la población. El componente clave es la disponibilidad de servicios de salud, en todos los niveles del desarrollo del enfermedad (WHO, 2009), sin embargo, lo principal es que la población pueda acceder a esos servicios de salud, porque de esta manera recibirá una

pronta atención y por tanto tendrá más posibilidades de recuperación ante un contagio.

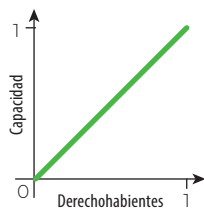
Variable 1.1. Población derechohabiente con algún servicio de salud (relativa)

La población que tenga derecho a los servicios públicos de salud, enfrentará de una manera más satisfactoria los contagios por dengue, porque dispondrá de atención médica oportuna. Es necesario conocer la población relativa con algún servicio de salud en el municipio, la

cual se calcula con el número total y el porcentaje de derechohabientes en el municipio.

Valor de función

A mayor número de derechohabientes, mayor capacidad adaptativa para enfrentar un contagio de dengue.



Observaciones

El valor relativo se calcula con el total y el porcentaje de la población derechohabiente con algún servicio de salud, lo cual permite no sobrestimar o subestimar.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Recursos humanos en instituciones de salud pública

En la detección y el manejo del dengue se deben tener buenos servicios clínicos en todos los niveles, lo más importante es contar con el número de médicos y enfermeras suficiente. Una pronta atención y un diagnóstico oportuno de la enfermedad ayudarán en el tratamiento y en el manejo de la enfermedad, promoviendo así la recuperación del paciente (WHO, 2009).

En México, los recursos físicos y humanos con que cuentan las diferentes instituciones de salud varían tanto en números absolutos como

en relación al número de afiliados que tienen, disminuyendo la calidad y oportunidad de la atención. Desde 2007 se ha registrado un incremento en el número de unidades hospitalarias existentes de 2,580 a 4,550 en 2014, alrededor de 4 por cada 100,000 habitantes. No obstante, existen importantes desigualdades en su distribución, tanto por entidad federativa como por institución. En cuanto a disponibilidad de recursos humanos en el país, entre 2005 y 2014, se tuvo en promedio un aumento de 3,800 médicos por año, de 83 mil a 117 mil, respectivamente, con un estancamiento en los años de 2009 y 2010. Entre 2005 y 2014, este recurso humano creció en todas las entidades. Zacatecas y Guerrero son los estados donde se registraron los mayores incrementos, con una tasa por 10 mil habitantes de 49.6% y 44.8%, respectivamente. Por el contrario, Quintana Roo y Aguascalientes fueron los estados con el menor crecimiento, 13.6% y 10.4% respectivamente (Secretaría de Salud, 2016).

Los lugares que no tienen o no cuentan con suficientes servicios de salud, no tendrán la suficiente capacidad adaptativa para enfrentar la ocurrencia de dengue.

Variable 2.1. Proporción de médicos disponibles en instituciones de salud pública (relativo)

Ante la presencia del dengue, es necesario contar con un tratamiento y un diagnóstico oportuno para tener éxito en la recuperación de la población.

Una buena generación y distribución de los servicios de salud garantizará una prestación

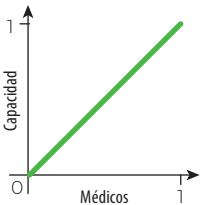
de los mismos de manera equitativa y de calidad. En México, en 2015, se titularon poco más de 13 mil médicos generales y 11 mil licenciadas en enfermería; no obstante, se concentraron en ciertas entidades federativas, lo que implica la necesidad de crear incentivos para que se distribuyan en todo el territorio nacional.

Si bien se ha tenido un aumento del capital humano en salud en México, éste aún se encuentra por debajo de los estándares de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Dicha situación puede generar un impacto negativo para cubrir las necesidades de atención de la población, derivando a su vez en una deficiente atención de la salud (Secretaría de Salud, 2016).

Por lo tanto, el número de médicos con los que se dispone en las instituciones de salud es fundamental, ya que la falta de los mismos disminuye la posibilidad de una pronta atención y un tratamiento adecuado de la población afectada, por enfermedades de emergencia como el dengue.

Valor de función

A mayor disponibilidad de médicos laborando en instituciones públicas de salud, mayor capacidad adaptativa de la población ante la presencia de dengue.



Observaciones

Para obtener el valor relativo se calculó el número total y porcentaje de médicos en instituciones públicas del municipio, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Infraestructura de los servicios de salud

La afiliación a un servicio de salud pública no garantiza a las personas ser atendidas cuando así lo requieran. La disponibilidad de unidades médicas es uno de los elementos esenciales para prestar un servicio de salud a la población. La precariedad de la disponibilidad de infraestructura médica y su distribución disparada implica desigualdad en el acceso a los servicios de salud, e incluso que amplios grupos de población se encuentren excluidos de ellos (Lavielle, s/f).

Existen lugares donde los pacientes deben recorrer grandes distancias para poder recibir la atención y sitios donde la calidad de los servicios se ve mermada a causa de la sobredemanda del servicio hospitalario; mientras en otras áreas existe una subutilización de las unidades. Se requiere fortalecer la planeación de la infraestructura de los servicios de salud, para transitar hacia una cobertura universal en salud de calidad que satisfaga las necesidades de la población (Secretaría de Salud, 2016).

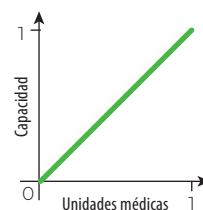
Las instituciones de salud pública que reciben pacientes con dengue deben proporcionar pronta atención a los mismos. Si es posible diseñar un área especial para dar seguimiento a los enfermos, además de contar con camas suficientes para la atención hospitalaria (WHO, 2009); de lo contrario podría aumentar la mortalidad de la población ante esta enfermedad.

Variable 3.1. Proporción de unidades médicas en el municipio (relativo)

Las unidades médicas de consulta externa son el principal punto de contacto de la población con los servicios de atención médica. Independientemente de la condición de aseguramiento, en ellas se concentran gran parte de las actividades que se desarrollan en el Sistema Nacional de Salud, por lo que su adecuada distribución resulta importante para el correcto funcionamiento del Sistema. Al cierre de 2014, se registraron 24,199 unidades de consulta externa en todo el país, lo que representó un aumento de 23% (4,539) con respecto a 2007. Sin embargo, de 2008 a 2010 se instalaron alrededor de 3,000 unidades, mientras que entre 2011 y 2014 el crecimiento de éstas disminuyó de forma importante y entre 2013 y 2014 solamente se abrieron poco más de 280 en cada año (Secretaría de Salud, 2016). Es necesario garantizar la disponibilidad de unidades médicas, accesibles y de calidad para la población, sobre todo ante enfermedades como el dengue, las cuales deben ofrecer una pronta atención.

Valor de función

A mayor proporción de unidades médicas en un municipio, mayor capacidad adaptativa ante la presencia de dengue.



Observaciones

Para obtener el valor relativo se calculó el número total y porcentaje de unidades médicas en el municipio, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 4. Planes o programas de mejoramiento de servicios públicos

El dengue tiene dinámicas espaciales y temporales complejas, las cuales están influenciadas por factores biológicos, humanos y ambientales. Sólo el conocimiento efectivo de la prevención conduce a estrategias de control y minimiza la transmisión del vector (Enduri y Jolad, 2018).

Las enfermedades transmitidas por vectores y en particular el dengue se pueden prevenir, la mayoría de los factores que facilitan su propagación son controlables mediante prácticas individuales y comunitarias de promoción de salud, por ello es fundamental la participación de los municipios en el fortalecimiento de acciones a nivel local. Se requiere que éstos promuevan la participación social, realicen intervenciones para mejorar la salud, así como la generación de políticas y programas públicos

a nivel local. Ante la problemática del dengue, los municipios deben contar con medidas ambientales para la reducción de criaderos de mosquitos, es necesario mejorar, mantener o bien generar servicios adecuados de agua potable y saneamiento, y de manejo de residuos sólidos para tener entornos limpios y libres de criaderos. El abastecimiento de agua es esencial para prevenir el dengue, ya que la escasez del líquido obliga a la gente a almacenarlo en depósitos, los cuales pueden convertirse en criaderos. De la misma manera, acumular residuos sólidos de forma inadecuada también propicia la retención de agua y por tanto la propagación de criaderos (Secretaría de Salud, 2014).

Variable 4.1. Agua potable y saneamiento

El rápido crecimiento urbano y su falta de regulación puede desencadenar una falta de servicios públicos, esta carencia de infraestructura puede provocar una mayor proliferación del vector del dengue en dichas poblaciones. En México en 2014, 9.9 millones de personas no tenían acceso al agua en sus viviendas, mientras que 9.7 millones no contaban con drenaje (PNUD-México, 2015). La falta de agua entubada en las viviendas es un detonante para que la gente la almacene en todo tipo de contenedores, los cuales son lugares donde los mosquitos pueden depositar sus huevecillos y desarrollarse.

Las instituciones son responsables de llevar a cabo trabajos públicos y sus contrapartes municipales son responsables de proveer adecuados suministros de agua y saneamiento en todas las comunidades (WHO, 2009). De esta

manera se previene o bien se puede controlar la disponibilidad de hábitats de criaderos de los mosquitos transmisores del dengue; ya que el abastecimiento del agua reduce la necesidad de su almacenamiento en depósitos (Secretaría de Salud, 2014).

Valor de función

0 - Indica la no existencia de programas/planes de agua potable y saneamiento en el municipio.

1 - Indica la existencia de programas/planes de agua potable y saneamiento en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 4.2. Manejo de residuos sólidos

Los “residuos sólidos” se refieren principalmente a las piezas de desechos no biodegradables de la casa, comunidad e industria (WHO, 2009). En México, se generan diariamente 102,895 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen el 78.54% en sitios de disposición final, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados (SEMARNAT, 2017a), por lo que resulta importante tener un control de los mismos, ya que dañan el ambiente y son un foco de propagación de enfermedades.

Para el control del dengue, los municipios son una pieza clave, ya que tienen a su cargo funciones de manejo integral de residuos sólidos, principalmente los urbanos, lo cual consiste en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final (SEMARNAT, 2017b). La gestión

integral de los residuos urbanos contribuye a la identificación de los factores ambientales críticos relacionados con los residuos, con el fin de prevenir los impactos ambientales y sociales negativos; al garantizar la sustentabilidad ambiental a través de un aumento en la eficiencia de los servicios de limpia. Al mismo tiempo permite la toma de conciencia ciudadana sobre lo que las actividades humanas pueden provocar en nuestro entorno natural (SEDEMA, 2016).

Un mal manejo de los residuos sólidos o la falta de programas para este fin y la continuidad de los mismos, puede llevar a la propagación del dengue, debido a la alta cantidad de desechos que se generan en una comunidad. Es necesario fortalecer las medidas para la prevención y control del dengue en las comunidades, lo que da mayor posibilidad de crear capacidades para enfrentar esta problemática.

Valor de función

0 - Indica la no existencia de estudios sobre la generación y composición de los residuos sólidos urbanos

1 - Indica la existencia de estudios sobre la generación y composición de los residuos sólidos urbanos.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 4.3. Servicio de recolección de residuos sólidos

En México es frecuente observar la acumulación de basura alrededor de ciudades, carreteras, caminos rurales y cuerpos de agua

superficiales, a tal grado que se ha calculado que una persona contamina hasta cuatro veces más el ambiente por los residuos que genera, que por el agua residual que produce (SEDESOL, s/f).

El apropiado almacenamiento, recolección y disposición de los desechos sólidos es esencial para proteger la salud pública (WHO, 2009). La etapa de recolección es la parte medular de un sistema de aseo urbano y tiene como objetivo principal preservar la salud pública mediante la recolección de los desechos en los centros de generación y su traslado al sitio de tratamiento o disposición final en forma eficiente y al menor costo, ya que esta etapa es la que emplea un número considerable de recursos económicos (SEDESOL, s/f). El volumen de residuos recolectados en el país con respecto a los generados creció de 8% en 1998 a 93% en 2012; sin embargo, tan sólo en 2012, 102 municipios en el país (4.1%) no contaban con servicios de recolección, disposición final y tratamiento.

El beneficio de reducir la cantidad de desechos sólidos en los ambientes urbanos susceptibles a la presencia de dengue, se extiende al control del vector y la reducción de la disponibilidad de su hábitat. Los residuos sólidos deben ser recolectados de manera regular; en climas cálidos, la frecuencia de la recolección es importante, se recomienda mínimamente dos veces por semana para el control de larvas, moscas, mosquitos y roedores (WHO, 2009). Un mal manejo de recolección conduce a la concentración de grandes cantidades de residuos en áreas como lotes baldíos, barrancas, colonias

periféricas y cuerpos de agua, que son lugares propicios para el hábitat de los mosquitos transmisores del dengue.

Valor de función

0 - Indica la no existencia de recolección de residuos sólidos.

1 - Indica la existencia de servicios de recolección de residuos sólidos.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 5. Instrumentos para la gestión de servicios de agua potable y saneamiento

La gestión de servicios de agua potable y saneamiento se refiere a los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. La tendencia de crecimiento de las zonas metropolitanas genera una mayor demanda de servicios de abastecimiento de agua potable, recolección y tratamiento del agua residual, lo cual pone a prueba, no sólo el funcionamiento de la infraestructura, sino las capacidades institucionales, financieras, jurídicas y políticas para mantener en operación estos servicios indispensables para la sociedad (Camacho y Casados, 2017). La problemática se acentúa en colonias marginadas, de bajo nivel socioeconómico y en asentamientos irregulares, producto de la urbanización acelerada, donde no se cuenta con los servicios regulares y cuando tienen la infraestructura, pero los servicios son escasos y de mala calidad. La falta de agua entu-

bada en las viviendas obliga a sus habitantes a acarrearla, crear pozos artesianos y almacenarla en contenedores; la falta de drenaje genera la contaminación de cauces de agua superficial y la acumulación de desechos orgánicos, incluso las fugas en el sistema de agua entubada no sólo favorece la escasez del líquido, sino también el encharcamiento; condiciones que favorecen la proliferación de enfermedades transmitidas por vector, como el dengue. Como el agua es un bien público, implica que el Estado está obligado a definir políticas públicas que aseguren el abasto de los usuarios en cada una de sus necesidades. De esta manera se garantiza el acceso a los servicios básicos, los cuales generan bienestar en el ambiente y la población, tanto en zonas urbanas como rurales (Hernández, 2007). La prestación del servicio de agua potable se ha incrementado significativamente en los últimos años, alcanzando en 2015 una cobertura en los servicios del 92.5% a nivel nacional, de 95.7% en zonas urbanas y 81.6% en zonas rurales (CONAGUA, 2016a).

Variable 5.1. Gestión sustentable del servicio de agua y saneamiento

La gestión sustentable de agua y saneamiento contribuye a fortalecer la gestión integral y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas, mediante la administración de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes bajo criterios económicos, sociales y ambientales. Una gestión sustentable puede aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento para

enfrentar la escasez de agua y reducir el número de personas que sufren este problema (CONAGUA, 2016b). Estos esfuerzos son importantes, ya que la disponibilidad de agua favorece el no almacenamiento de ésta en contenedores al aire libre, por tiempos prolongados y cercanos a las viviendas, siendo estos lugares apropiados para el hábitat del mosquito transmisor de dengue y por lo tanto de su desarrollo.

Valor de función

0 - Indica la no existencia de instrumentos para la gestión sustentable del servicio de agua y saneamiento en el municipio.

1 - Indica la existencia de instrumentos para la gestión sustentable de servicios de agua y saneamiento en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 5.2. Difusión de información sobre la gestión de servicios de agua y participación ciudadana

Las enfermedades transmitidas por vectores y en particular el dengue se pueden prevenir, ya que una gran parte de los factores que facilitan su propagación se pueden controlar por medio de prácticas individuales y comunitarias de promoción de la salud. Por lo tanto, es fundamental la participación del municipio en el fortalecimiento de acciones

a nivel local, que faciliten el buen manejo o la eliminación de todos aquellos espacios donde se pueden desarrollar los mosquitos de esta enfermedad (Secretaría de Salud, 2014). Debido a que la problemática del dengue se encuentra contenida en un marco social, se requiere que la ciudadanía participe en las maniobras locales para el control del vector, en la evaluación de los problemas y necesidades de la comunidad, en la implementación de las actividades, y en la evaluación y monitoreo de las estrategias establecidas (Tapia-Conyer *et al.*, 2012). Si la población no se apropia de las medidas implementadas, cualquier iniciativa que se lleve a cabo no será exitosa del todo. La comunicación debe ser un proceso interactivo a través del cual dos o más participantes (individual o grupal) crean un canal de modo que establecen un entendimiento e identifican áreas de mutuo acuerdo (WHO, 2009).

Valor de función

0 - Indica la no existencia de difusión de información sobre la gestión de servicios de agua y participación ciudadana.

1 - Indica la existencia de difusión de información sobre la gestión de servicios de agua y participación ciudadana.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2010). *Población total. Censo de Población y Vivienda 2010*. [shapefile].

Variable 2.1

1. SIMBAD-INEGI (2010). *Personal médico según institución*. [tabla excel]. Tema: Personal médico comprende el número de profesionistas que proporcionan atención médica en las instituciones de salud.

Variable 3.1

1. SIMBAD-INEGI (2014). *Unidades médicas según institución*. [tabla excel]. Tema: Unidades médicas – comprende el número de establecimientos que proporcionan atención médica en las instituciones de salud.

Variable 4.1

1. INEGI (2014). “Planeación y evaluación. Administración Pública municipal o delegacional. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Variable 4.2

1. INEGI (2014). “Programas orientados a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Variable 4.3

1. INEGI (2014). “Recolección de residuos sólidos urbanos. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

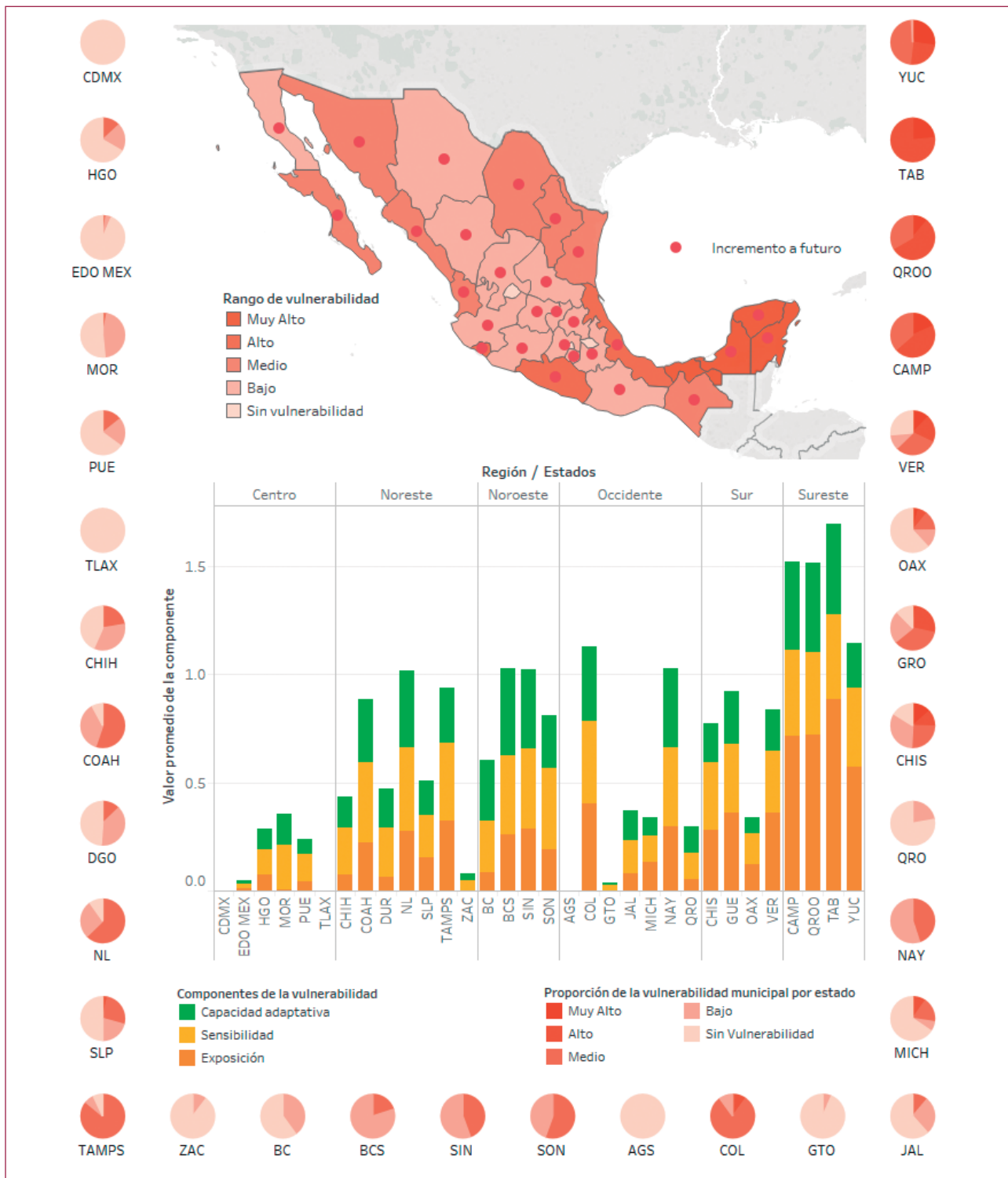
Variable 5.1

1. INEGI (2014). “Programas orientados a la gestión sustentable del servicio de agua potable de la red pública. Agua potable y saneamiento. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Variable 5.2

1. INEGI (2014). “Difusión de información sobre la gestión del servicio de agua y participación ciudadana. Agua potable y saneamiento. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015”. [archivo de texto csv].

Mapa 7.1. Vulnerabilidad de la población al incremento en la distribución potencial del dengue



En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de la población al incremento en la distribución potencial del dengue por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alto a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Referencias

- Abeyrathna, M. P. A. R., Abeygunawrdane, D. A., Wijesundara, R. A. A. V., Mudalige, V. B., Bandara, M. et al. (2016). Dengue propagation prediction using human mobility. En *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*. pp. 156-161. Doi: <https://doi.org/10.1109/MERCon.2016.7480132>
- Alley, S. C. (2015). *Dengue Fever, Trash, and the Politics of Responsibility in Favelas, Subúrbios, and Peri-Urban Areas of Rio de Janeiro, Brazil*. Estados Unidos: Columbia University. Doi: <https://doi.org/10.7916/D84M93TW>
- Banu, S., Hu, W., Hurst, C. y Tong, S. (2011). Dengue transmission in the Asia-Pacific region: impact of climate change and socioenvironmental factors. *Tropical Medicine and International Health* 16:598-607.
- Barcellos, C. y Lowe, R. (2014). Expansion of dengue transmission area in Brazil: The role of climate and cities. *Tropical medicine and International Health* 19(2):159-168.
- Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P. et al. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496:504-507.
- Butterworth, M. K., Morin, C. W. y Comrie, A. C. (2017). An analysis of the potential impacts of climate change on dengue transmission in the south-eastern United States. *Environmental Health Perspectives* 125(4):579-585.
- Camacho, H. y Casados, J. (2017). *Regulación de los servicios de agua potable y saneamiento en México*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Choi, Y., Tang, C. S., McIver, L., Hashizume, M., Chan, V., Abeyasinghe, R. y Huy, R. (2016). Effects of weather factors on dengue fever incidence and implications for interventions in Cambodia. *BMC Public Health* 16(1):241. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2923-2>
- CONAGUA (2016a). *Atlas del agua en México 2016*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA (2016b). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento 2016*. México: Comisión Nacional del Agua/Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184667/DSAPAS_2016_web_Parte1.pdf
- Dantés, H. G., Farfán-Ale, J. A. y Sarti, E. (2014). Epidemiological Trend of Dengue Disease in Mexico

- (2000-2011): A Systematic Literature Search and Analysis. *PLOS NTD* 8(11):e3158.
- Díaz-Quijano, F. A. y Waldman, E. A. (2012). Factors associated with dengue mortality in Latin America and the Caribbean, 1995-2009: an ecological study. *Am J Trop Med Hyg* 86:328-334.
- Ebi, K. L. y Nealon, J. (2016). Dengue in a changing climate. *Environmental Research* 151:115-123. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.026>
- Enduri, M. K. y Jolad, S. (2018). Dynamics of Dengue with Human and Vector Mobility. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* 25:57-66. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sste.2018.03.001>
- Estallo, E. L., Ludueña-Almeida, F. F., Visintin, A. M., Scavuzzo, C. M. et al. (2011). Prevention of Dengue outbreaks through *Aedes aegypti* oviposition activity forecasting method. *Vector Borne and Zoonotic Dis* 11(5):543-549. Doi: <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0165>.
- Estallo, E. L., Ludueña-Almeida, F. F., Introini, M. V., Zaidenberg, M. y Almirón, W. R. (2015). Weather Variability Associated with *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Dengue Vector) Oviposition Dynamics in Northwestern Argentina. *PLOS ONE* 10(5):e0127820. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127820>
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E. y Patz, J. A. (2001). El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud* 4:72-82.
- Gubler, D. J. (2002). Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. *Trends Microbiology* 10(2):100-103.
- Hales, S., de Wet, N., Maindonald, J. y Woodward, A. (2002). Potential effect of population and climate change on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet* 360(9336):830-834.
- Hemme, R. R., Thomas, C. L., Chadee, D. D. y Severson, D. W. (2010). Influence of urban landscapes on population dynamics in a short-distance migrant mosquito: Evidence for the dengue vector *Aedes aegypti*. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 4(3):e634. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000634>
- Hernández Rodríguez, M. L. (5-22 junio, 2007). El agua como bien público en México: una propuesta para su distribución. *Cuarto Encuentro Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Población, Simposio Origen, causas y consecuencias de la crisis del agua y las estrategias nacionales para afrontarla*. Recuperado de: <https://www.eumed.net/>
- Hii, Y. L., Zhu, H., Ng, N., Ng, L. C. y Rocklöv, J. (2012). Forecast of dengue incidence using temperature and rainfall. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 6(11):e1908. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001908>
- Hopp, J. y Foley, J. A. (2001). Global scale relationship between climate and the dengue fever vector, *Aedes Aegypti*. *Climatic Change* 48:441-463.
- Hota, A. (2014). *Development and validation of statistical and deterministic models used to predict dengue fever in Mexico*. (Tesis grado). Estados Unidos: Cambridge Massachusetts, Harvard College, The applied Mathematics Department.
- Huber, J. H., Child, M. L., Caldwell, J. M. y Mordecai, E. A. (2018). Seasonal temperature variation influences climate suitability for dengue, chikungunya, and Zika transmission. *PLOS NTD* 12(5):e0006451. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006451>
- Hurtado-Díaz, M., Riojas-Rodríguez, H., Rothenberg, S. J., Gomez-Dantés, H. y Cifuentes, E. (2007). Short communication: Impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico. *Tropical Medicine and International Health* 12(11):1327-1337. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01930.x>
- Johnsen, M. M. (2010). *Potential Mosquito Problem after a Hurricane*. Texas AgriLife Extension Service, Agricultural and Environmental Safety. Recuperado de: <https://agrilife.org/aes/files/2010/06/Potential-Mosquito-Problems-After-a-Hurricane.pdf>
- Knudsen, A. B. y Slooff, R. (1992). Vector-borne disease problems in rapid urbanization: new approaches to vector control. *Bulletin of the World Health Organization* 70(1):1-6. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1568273>
- Kusriastuti, R. y Sutomo, S. (2005). Evolution of Dengue Prevention and Control Programme in Indonesia. *Dengue Bulletin* 29:1-7.
- Laurance, W. F., Goosem, M. y Laurance, S. G. W. (2009). Impacts of roads and linear clearing on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24(12):659-669.

- Lavielle, B. (s/f). *Derecho a la salud: disponibilidad de infraestructura sanitaria*. Razones FUNDAR. Recuperado de: <http://www.fundar.org.mx/mexico/pdf/dsalud.pdf>
- Li, Y., Kamara, F., Zhou, C., Puthiyakunnon, S., Li, C., Liu, Y., Zhou, Y., Yao, L., Yan, G. y Chen, X. (2014). Urbanization Increases *Aedes albopictus* Larval Habitats and Accelerates Mosquito Development and Survivorship. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 8(11):e3301. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003301>
- Liu-Helmersson, J., Stenlund, H., Wilder-Smith, A. y Rocklöv, J. (2014). Vectorial Capacity of *Aedes aegypti*: Effects of Temperature and Implications for Global Dengue Epidemic Potential. *PLOS ONE* 9(3):e89783. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089783>
- OMS (2017). Dengue y dengue grave. Nota descriptiva. Francia: World Health Organization. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
- PNUD-México (2015). Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. Recuperado de: <http://www.mx-undp.org/content/mexico/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-6.html>
- Sáez Sáez, V. (2006). Estudio correlativo entre dengue, precipitación y temperatura del aire, período 1995 a 2002. Municipio Libertador. Distrito Capital. Venezuela. *Terra Nueva Etapa XXII*(32): 123-155.
- San Martín, J. L., Brathwaite, O., Zambrano, B., Solórzano, J. O. y Bouckennooghe, A. (2010). The epidemiology of dengue in the Americas over the last three decades: a worrisome reality. *Am. J Trop Med Hyg* 82:128-135.
- Sarfraz, M. S., Tripathi, N. K., Faruque, F. S., Bajwa, U. I., Kitamoto, A. y Souris, M. (2014). Mapping urban and peri-urban breeding habitats of *Aedes* mosquitoes using a fuzzy analytical hierarchical process based on climatic and physical parameters. *Geospatial Health* 8(3):685. Doi: <https://doi.org/10.4081/gh.2014.297>
- Secretaría de Salud (2008). *Programa de Acción Específico 2007-2012, Dengue*. México: Secretaría de Salud.
- Secretaría de Salud (2014). *Guía de acciones municipales para la prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores*. México: Secretaría de Salud.
- Secretaría de Salud (2016). *Informe sobre la salud de los mexicanos 2016. Diagnóstico General del Sistema Nacional de Salud*. México: Secretaría de Salud.
- SEDEMA (2016). *Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2020*. México: Secretaría del Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.se-dema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>
- SEDESOL (s/f). *Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales*. México: Secretaría de Desarrollo Social. Recuperado de: <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>
- SEMARNAT (2012). Residuos. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. *Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
- SEMARNAT (2017a). Información sobre residuos sólidos. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>
- SEMARNAT (2017b). Residuos sólidos urbanos y de manejo especial. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>
- Tapia-Conyer, R., Betancourt-Cravioto, M. y Méndez-Galván, J. (2012a). Dengue: an escalating public health problem in Latin America. *Paediatrics and International Child Health* 32(1):14-17. Doi: <https://doi.org/10.1179/2046904712Z.000000000046>
- Tapia-Conyer, R., Méndez-Galván, J. y Burciaga-Zúñiga, P. (2012b). Community participation in the prevention and control of dengue: the *patio limpio* strategy in México. *Paediatrics and International Child Health* 32:10-13. Doi: <https://doi.org/10.1179/2046904712Z.000000000047>
- Torrado, E., Castañeda, E., de la Hoz, F. y Restrepo, A. (2000). *Paracoccidiodomicosis: definición de las áreas endémicas de Colombia*. *Biomédicas* 20:327-334.

- Torres-Galicia, I., Cortés-Poza, D. y Becker, I. (2014). *Dengue en México: análisis de dos décadas. Gaceta Médica de México* 150:122-127.
- Tripathi, P. y Gupta, R. B. (2018). Life table attributes study of vector of Dengue (*Aedes aegypti*) from Gwalior, Madhya Pradesh, India. *International Journal of Entomology Research*. 3:52-55. Recuperado de: <http://www.entomologyjournals.com/archives/2018/vol3/issue1/3-1-17>
- Uribarren Berrueta, T. (2018). *Dengue, y otras infecciones no hemorrágicas: fiebre chikungunya, zika, fiebre del nilo occidental y otros arbovirus*. UNAM. Disponible en <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/virologia/dengue.html>
- WHO (2009). *Dengue. Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control*. Francia: World Health Organization.
- WHO (2018). *Flooding and communicable diseases fact sheet*. Francia: World Health Organization. Recuperado de: http://www.who.int/hac/tech-guidance/ems/flood_cds/en/





8

Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico





Ficha técnica

Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico

Grupo de trabajo:	Actividades económicas
Objeto vulnerable:	Producción ganadera
Unidad de agregación:	Municipal

El resultado, diseño, desarrollo e implementación de la Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico, incluida en el ANVCC, es producto de la colaboración entre el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Coordinación General de Ganadería-Dirección General Adjunta de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)-Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). De esta manera, se aporta a la meta comprometida por SAGARPA en el Programa Especial de Cambio Climático (2014-2018) en su Línea de Acción 1.4.3: “Elaborar el atlas municipal de la vulnerabilidad ambiental de la ganadería extensiva al cambio climático”; Estrategia 1.4: “Fomentar acciones de adaptación en los sectores productivos”; y Objetivo 1: “Reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de la población y la resistencia de la infraestructura estratégica”.

Las actividades pecuarias bajo condiciones extensivas se caracterizan por emplear el forraje presente en los agostaderos para alimentar al ganado (González y Ávila, 2010).

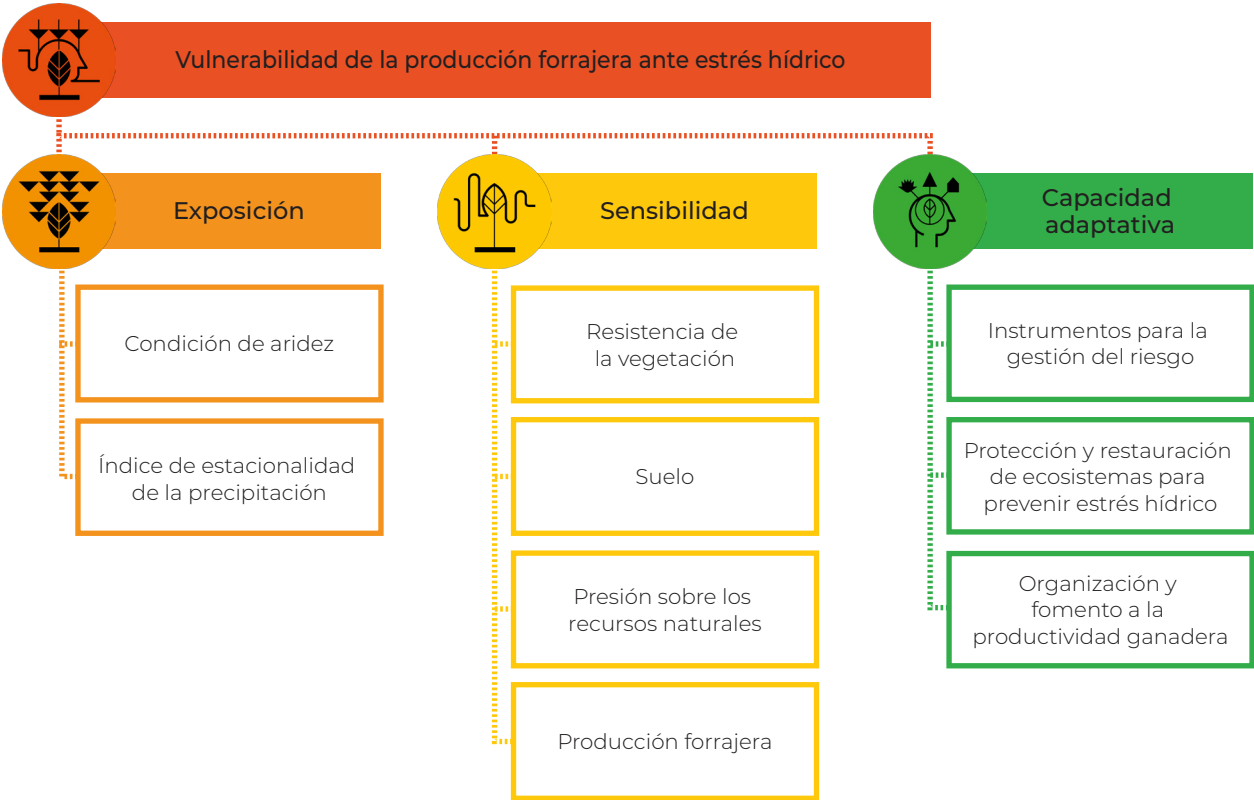
La producción forrajera varía de una región a otra y es estacional, su distribución depende del clima, el suelo, la especie del forraje y su manejo. El rendimiento y la calidad del forraje están en función de la precipitación, la cual influye de acuerdo a su cantidad total y su distribución durante el año. Lo anterior determina la estacionalidad de la producción y propicia la abundancia de forraje en la época de lluvia, y la escasez en la época seca, cuando hay estrés hídrico.

El exceso y el déficit de agua debilitan las plantas forrajeras. El estrés hídrico durante una sequía es la principal limitante en el rendimiento de forraje, ya que causa un retraso en la madurez de la planta y los tallos se acortan; se incrementa la relación hoja/tallo, lo que mejora la calidad del forraje, y por consiguiente, se tiene un mayor valor nutritivo y digestibilidad (Enríquez *et al.*, 2011). Sin embargo, la recuperación de las plantas es más lenta y el lapso de ocupación por necesidad es más largo (INATEC, s/f); así mismo, implica mantener una carga animal menor (Urrutia, Ochoa y Beltrán, 2000). Las sequías para los forrajes se definen como un período seco prolongado, generalmente cuando la precipitación es menor del 75% del

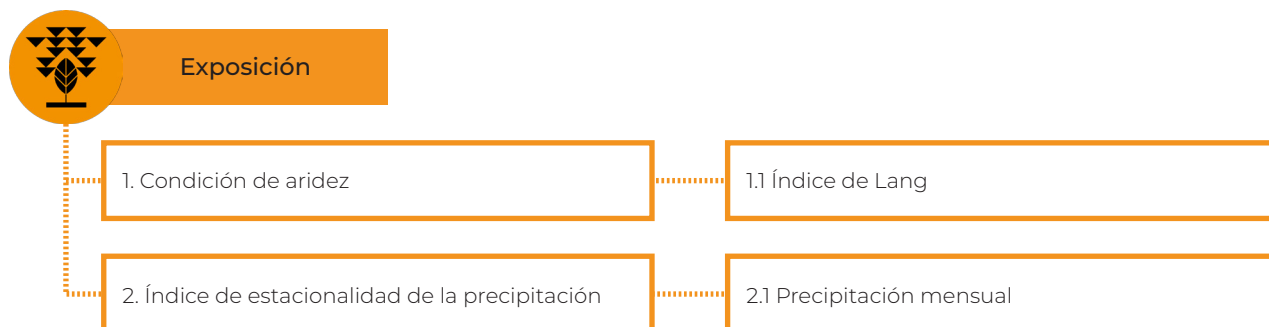
promedio anual; también se asocia a baja humedad ambiental, altas temperaturas y vientos fuertes, lo que dificulta el crecimiento de los forrajes (González y Ávila, 2010). Debido a la reducción de la disponibilidad de forrajes, la producción de bovinos de pastoreo en época de secas pierde peso corporal y su estado de salud se merma (Bustamante, 2004), conduciendo a una pérdida de producción pecuaria. La eficiencia en la utilización del forraje disponible depende en gran medida de la uniformidad del pastoreo, por lo que las áreas

subutilizadas y sobreutilizadas dentro de un predio ganadero son, en términos generales, el reflejo de un manejo inadecuado (UGRJ, 2018). De esta manera, en agostaderos pastoreados de manera moderada o conservadora se produce más forraje en años secos que en agostaderos sobrepastoreados. Por lo tanto, cuando eventualmente lleguen las lluvias, las prácticas adecuadas de manejo del pastoreo ayudarán a una mayor captura de humedad por el suelo y a que se optimice el crecimiento del forraje (González y Ávila, 2010).

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1.1. Condición de aridez

La escasez de la precipitación y su irregularidad anual e interanual, rasgos climáticos permanentes, caracterizan a las zonas áridas, las cuales ocupan una tercera parte de la superficie terrestre (Hernández *et al.*, 2007). La aridez se evalúa con base en variables climáticas (índices de aridez), o bien a partir del número de días que el balance de agua permite el crecimiento de las plantas (periodo de crecimiento). Las zonas extremadamente áridas o hiperáridas son aquellas en las que existe un déficit de agua durante todo el año, mientras que cuando el déficit se presenta durante la mayor parte del año se clasifican en tierras áridas o semiáridas. Más allá de una clasificación de zonas áridas, es importante considerar la duración de la escasa y dispersa precipitación y considerar la duración y el periodo de la estación lluviosa (UNESCO, 1982), lo cual influirá en actividades como la ganadería, ya que de esta manera se podrán tomar medidas para un mejor aprovechamiento de las condiciones climáticas. Sin embargo, eventos como las sequías, que son características de las tierras áridas y pueden definirse como periodos (1-2 años) en

los que las lluvias se encuentran por debajo del promedio, pueden tener consecuencias sobre la productividad de las tierras y la pérdida de la vegetación y por tanto de la producción ganadera (FAO, 2007). Las actividades de las regiones áridas están adaptadas a la permanencia de aridez; en contraste, la presencia de sequía origina interrupción de las actividades normales en todas ellas (Hernández *et al.*, 2007).

Variable 1.1. Índice de Lang

Los límites de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas no son abruptos ni estáticos, debido a la alta variabilidad interanual en la precipitación y a la ocurrencia de sequías, las cuales pueden ocurrir por periodos de varios años. El problema para la caracterización y delimitación de estas zonas, desde el punto de vista climático, es la evaluación e identificación de variables climáticas para establecer un índice de deficiencia o excedencia de agua que evalúe la relación entre el agua que entra y la que sale (Troyo *et al.*, s/f).

Richard Lang estableció en 1915 una clasificación basada en el volumen de la precipitación

anual (acumulada) y la temperatura promedio. Este índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región (Sánchez y Garduño, 2008).

El índice de Lang (L) se basa en el factor de la razón entre la precipitación y la temperatura, de los cuales se proponen seis clasificaciones. El factor (L) se obtiene con la relación entre la precipitación media anual (P) en mm y la temperatura media anual (T) en °C, usando la siguiente fórmula:

$$L = P/T$$

donde:

L : factor de Lang

P : Precipitación media anual

T : Temperatura media anual

Factor de Lang (P/T)	Clasificación	Símbolo
0-20	Desértico	D
20.1-40	Árido	A
40.1-60	Semiárido	SA
60.1-100	Subhúmedo	SH
100.1-160	Húmedo	H
>160	Muy húmedo	VH

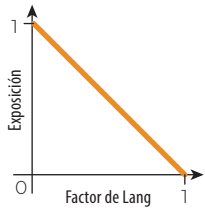
Fuente: Neira (2016).

La ventaja del índice de Lang es que define clases más bajas de aridez, tal es el caso de la clasificación de “desértico” seguida de la clasificación de “árido”, mientras que en otros índices la clasificación más extrema empieza en “árido” (como los de Martonne, Thornthwaite y Emberger).

El índice de Lang detalla de mejor manera, la clasificación de aridez y por tanto no subestima los valores (Neira, 2006).

Valor de función

A menor valor del factor de Lang, mayor exposición ante estrés hídrico.



Observaciones

Para el cálculo del índice de Lang, se consideraron la precipitación y temperatura para los datos observados para el periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Índice de estacionalidad de la precipitación

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, se puede dividir entre meses secos y meses húmedos. En México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez *et al.*, 2008). Para representar la estacionalidad se utiliza el índice de estacionalidad (SI , por sus siglas en inglés), definido por Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia

mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año. Es decir:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

donde:

- \bar{x}_n es el promedio de la precipitación del mes n
- \bar{R} es el promedio anual de la precipitación

El rango de valores del índice varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1.83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes).

Régimen de lluvia	Límites de clases SI
Distribución de lluvia muy constante	≤ 0.19
Constante pero con una temporada húmeda definida	0.20-0.39
Algo estacional con una corta temporada más seca	0.40-0.59
Estacional	0.60-0.79
Marcadamente estacional con una temporada seca más larga	0.80-0.99
Mucha lluvia en 3 meses o menos	1.00-1.19
Extrema, casi toda la lluvia en 1-2 meses	≥ 1.20

Fuente: Walsh y Lawler (1981).

El SI se integra al criterio de condición de aridez porque determina la concentración de la precipitación en un periodo de tiempo dado, es decir, proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad de la lluvia (Kanellopoulou, 2002; Walsh y Lawler,

1981). Con esta caracterización se pueden determinar temporadas secas.

En comparación con otros índices (Cornejo-Ayala, 2006), que pueden subestimar la caracterización, el SI define los contrastes de lluvia con más detalle debido a su mayor número de clasificaciones. Los valores altos indican que la precipitación se concentra en menos meses, y por tanto el estrés hídrico puede presentarse en una mayor cantidad de meses.

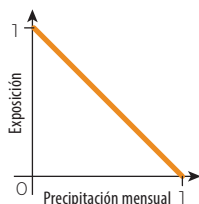
Variable 2.1. Precipitación mensual

El análisis de la precipitación mensual en su ciclo anual, permite conocer la distribución de la lluvia a lo largo del año. Es decir, cuáles meses son secos y cuáles los húmedos, siendo los primeros los representativos de las condiciones en zonas áridas. En una gran parte del territorio nacional la temporada de lluvias se presenta en la mitad del año, durante los meses de mayo a octubre, excepto en un área del noroeste en donde predominan las precipitaciones en invierno. En la vertiente del océano Pacífico, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de Baja California, la vertiente del Golfo de México, la región noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes elevadas de las montañas del sur del país se presenta un máximo de precipitación durante septiembre, lo cual se relaciona con la temporada de ciclones tropicales. En las cuencas interiores del sur, así como sobre la Altiplanicie Mexicana, el máximo se presenta en los meses de junio o julio. En el extremo noroeste del territorio se tiene un régimen de lluvias con un máximo en diciembre o enero. Mientras que las zonas del

norte, noreste y noroeste de la porción continental tiene régimen de lluvias uniformemente distribuidas (García, 2003a).

Valor de función

A menor precipitación mensual, mayor exposición.



Observaciones

La precipitación mensual se utilizó como insumo para calcular el índice de estacionalidad de la lluvia, así como el promedio anual. Se aplica para los datos observados en el periodo 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

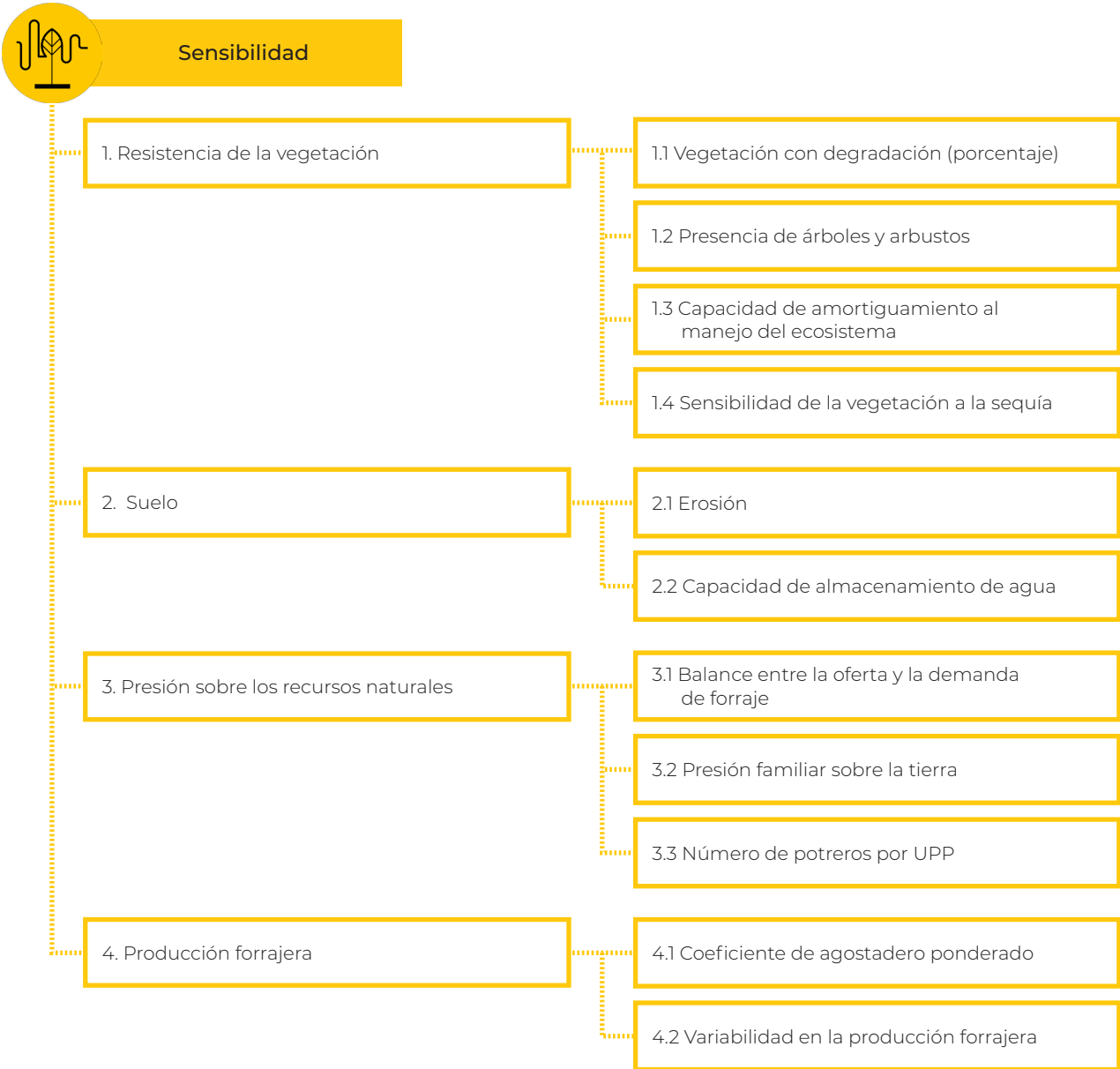
Variable 1.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INECC (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].

Variable 2.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.

Sensibilidad



Criterio 1. Resistencia de la vegetación

El estrés hídrico puede propiciar condiciones adversas para muchas especies vegetales. Las plantas y organismos en general, que habi-

tan en zonas con escasas precipitaciones, han desarrollado una serie de características anatómicas, estructurales, bioquímicas y fisiológicas que les permiten mantener un balance adecuado de agua y energía térmica. Inclu-

yen ajustes fenológicos a la disponibilidad de agua, características morfofisiológicas que reducen la pérdida de agua o aumentan su adquisición, mecanismos de regulación del estrés térmico, respuesta rápida a los pulsos de recursos y exploración de fuentes de agua profunda (Villagra *et al.*, 2011; Granados-Sánchez *et al.*, 1998).

La eliminación o pérdida de la capa de vegetación incrementa el riesgo de erosión y degradación del suelo. Los usos predominantes del suelo en las tierras áridas y con presencia de estrés hídrico son el pastoreo y la producción de alimentos de subsistencia (FAO, 2007; Granados-Sánchez *et al.*, 1998). Aunque la vegetación de estas zonas puede tener mucha resistencia a condiciones adversas, no está exenta del mal manejo de la actividad pecuaria, la cual ocasiona la pérdida de especies forrajeras nativas, disminuye la capa vegetal que cubre y protege el suelo y provoca cambios en la estructura del ecosistema, así como en su diversidad florística (Molina-Guerra *et al.*, 2013).

Variable 1.1. Vegetación con degradación (porcentaje)

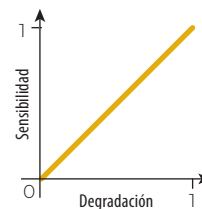
El proceso de degradación se refiere a la alteración de la cubierta vegetal original sin desaparecer en su totalidad, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales originales. Estos cambios en la superficie pueden alterar la estructura de los ecosistemas y con ello los bienes y servicios que la vegetación ofrece (Cuevas *et al.*, 2010). Los sistemas de pastoreo inadecuados propician la pérdida de vigor de las plantas forrajeras más ape-

tecibles para el ganado y en casos extremos su desaparición de los potreros, lo cual favorece el incremento de especies nativas menos apetecibles para los animales y/o, en su caso, el establecimiento de especies invasoras (SAGARPA, 2018a), este efecto acentúa el uso irracional e intenso. Debido a lo anterior, grandes extensiones de tierras se encuentran sobrepastoreadas (Rzedowski, 2006). Como consecuencia del sobrepastoreo se presenta la reducción en la productividad pecuaria y forrajera (Ángel Sánchez *et al.*, 2017).

La superficie afectada por sobrepastoreo alcanzó en el año 2002 poco más de 47.6 millones de hectáreas (24% de la superficie nacional) y alrededor del 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país (SEMARNAT, 2016).

Valor de función

A medida que aumenta el porcentaje de la superficie con degradación, aumenta la susceptibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) calcularon esta variable de la siguiente manera:

1. El estado de conservación de la vegetación se determinó mediante monitoreo satelital, usando los índices espectrales

de la vegetación del 2000 al 2008, con los que se obtuvo la línea base municipal por grupo de vegetación (por medio de una regresión lineal). Se consideró que la vegetación estaba en proceso de deterioro cuando el signo del coeficiente de regresión era negativo y cuando el signo del coeficiente era positivo la vegetación estaba en proceso de recuperación.

2. El porcentaje de la vegetación con degradación se determinó con la ecuación:

$$Vdegra = \sum sgvd1 \dots sgvdn / stv \times 100$$

donde:

$Vdegra$ = vegetación con degradación (%)

$sgvd1$ = superficie del grupo de vegetación 1 con degradación

$sgvdn$ = superficie del grupo de vegetación n con degradación

stv = superficie total de la vegetación

Unidad de agregación

Municipio.

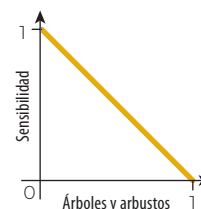
Variable 1.2. Presencia de árboles y arbustos

Los árboles y arbustos presentes en las tierras de uso ganadero son importantes en la producción forrajera, y aumentan la estabilidad de los ecosistemas en este tipo de terrenos (SAGARPA, 2018a). Gracias a la presencia de árboles se produce sombra que mitiga el efecto de las altas temperaturas. La hojarasca que se deposita en el suelo puede contribuir a la reducción de la temperatura y a los procesos de degradación,

además de favorecer la fertilidad del suelo para pastos y forrajes nativos. Las raíces mejoran la estructura del suelo al romper sus capas duras; al morir, se descomponen y aportan materia orgánica al suelo, mientras que los conductos facilitan la infiltración de agua de lluvia (Hernández y Simón, 1993). Debido a sus raíces, los árboles y arbustos tienen una alta capacidad para aprovechar el agua y los minerales del subsuelo, características importantes ante estrés hídrico, por lo que es común que estas especies retoñen antes de la temporada de lluvias y finalicen su crecimiento, tiempo después del término de las lluvias (SAGARPA, 2018a). El pastoreo de la vegetación herbácea reduce el riesgo de incendios, sobre todo en temporada de secas (Hernández y Simón, 1993).

Valor de función

A medida que aumenta el porcentaje de árboles y arbustos en las tierras, disminuye la susceptibilidad en la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

De acuerdo con SAGARPA (2018a) el porcentaje de cobertura de copa de árboles y arbustos se determinó a nivel municipal, usando información de la Red Extendida del Sistema Nacional de Monitoreo Terrestre Orientado a la Ganadería, de la siguiente manera:

1. Se calculó el porcentaje de cobertura de copa de árboles y arbustos por grupo de vegetación (pastizales, matorrales, bosques, selvas, praderas cultivadas y otros tipos de vegetación).
2. Los porcentajes resultantes se multiplicaron por la superficie total del grupo de vegetación que le correspondía, para así dar la superficie total con cobertura de copa de árboles y arbustos en el año, independientemente de si son o no de follaje perennifolio.
3. Se dividió dicha superficie entre la superficie total con vegetación natural e inducida y se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de cobertura de copa en el estiaje.

Unidad de agregación

Municipio

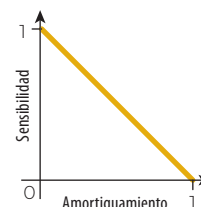
Variable 1.3. Capacidad de amortiguamiento al manejo del ecosistema

Los ambientes reaccionan y toleran de diferente manera la manipulación humana. Por ello, es necesario conocer las características del ecosistema donde se llevará a cabo algún manejo para evitar una desertificación. En el manejo holístico, el concepto de friabilidad de las tierras es clave. La friabilidad de las tierras depende de los tipos de vegetación, la temporalidad de la producción forrajera, de las poblaciones de insectos y microorganismos, de la velocidad y tipo de descomposición (biológica, física y oxidación) (Savory, 2005).

A medida que aumenta el grado de friabilidad de las tierras éstas se recuperan más rápido, lo que aumenta la posibilidad de usar una mayor variedad de herramientas y sistemas de producción (Savory, 2005). De esta manera si la tierra es friable se podrá recuperar más rápidamente ante estrés hídrico, generado por época de estiaje o bien por eventos como las sequías.

Valor de función

A mayor capacidad de amortiguamiento al manejo del ecosistema, menor susceptibilidad en la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

Un suelo friable es aquel que tiene una textura desmenuzable/quebradiza ideal para actividades como la agricultura. La textura quebradiza de los suelos friables permite que las raíces y otras partes de plantas subterráneas se desarrollen. También logra el equilibrio correcto en términos de drenaje, ya que en un terreno friable óptimo se drena lo suficientemente bien como para que nunca se sature de agua, mientras que, al mismo tiempo, retiene la humedad suficiente para proporcionar a las plantas un medio uniformemente húmedo para crecer (<https://www.thespruce.com/what-is-friable-soil-2131051>).

La escala de friabilidad de las tierras se determinó por juicio experto de técnicos de COTECOCA con base en los conocimientos y criterios desarrollados por Savory (2005), de acuerdo con el Marco Metodológico de Administración Holística de los recursos. Asimismo, los tipos de vegetación primaria presentes en los municipios y la superficie que estos ocupan, se clasificaron según su grado de friabilidad (SAGARPA, 2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.4. Sensibilidad de la vegetación a la sequía

Los tipos de vegetación difieren en su capacidad para resistir al estrés hídrico en condiciones de aridez y sequía. Dependen de la cantidad, distribución y frecuencia de la precipitación, además de las características anatómicas y fisiológicas de las especies vegetales dominantes. Esta variable considera todos los tipos de vegetación, praderas cultivadas y pastizales inducidos (fase serial de la vegetación) presentes en el municipio y la superficie que estos ocupan (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta la superficie con tipos de vegetación poco resistentes ante estrés hídrico, aumenta la susceptibilidad de la producción forrajera.



Observaciones

De acuerdo con SAGARPA (2018a), la escala de sensibilidad municipal de la vegetación se obtuvo por interpolación lineal a partir de la escala de resistencia a la sequía, tomando como referencia los valores mínimos y máximos a nivel nacional. Al valor más bajo de resistencia a la sequía le corresponde el nivel de sensibilidad de 5 y al más alto el nivel de sensibilidad de 1. La escala de resistencia a la sequía la determinaron con la siguiente ecuación:

$$ERS = (Supp \times k1 \times Supm \times k2 \times Supb \times k3 \times Sups \times k4 \times Suppc \times k5 \times Supo \times k6) / (Supt)$$

donde:

ERS = Escala de resistencia de la vegetación a la sequía;

Supp = Superficie de pastizales;

Supm = Superficie de matorrales;

Supb = Superficie de bosques;

Sups = Superficie de selvas;

Suppc = Superficie de praderas cultivadas

Supo = Superficie de otros tipos de vegetación;

k1 = Escala de resistencia de los pastizales a la sequía;

k2 = Escala de resistencia de los matorrales a la sequía;

k3 = Escala de resistencia de los bosques a la sequía;

k4 = Escala de resistencia de las selvas a la sequía;

k5 = Escala de resistencia de otros tipos de vegetación a la sequía;

k6 = Escala de resistencia de otros tipos de vegetación a la sequía;

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Suelo

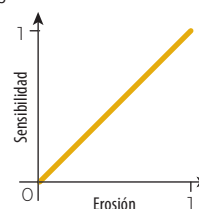
El suelo es un recurso natural considerado como no renovable, ya que es difícil recuperarlo después de haber sido erosionado (Cardoza *et al.*, 2006). Además de ser el soporte de la vegetación, la infraestructura, el hábitat de la biodiversidad, regulador del ciclo hidrológico, es la base productiva de la agricultura, la producción forestal y la ganadería (Calle y Muyguitio, 2015). Sin embargo, aproximadamente el 23% del territorio nacional, cuenta suelos que mantienen actividades productivas sustentables o sin degradación aparente (Cardoza *et al.*, 2006). La pérdida de la fertilidad del suelo y su erosión constituyen los problemas más graves que limitan el propósito de la seguridad alimentaria y la adaptación de estos sistemas ante la variabilidad climática, e influyen en las condiciones de pobreza y de migración rural. La producción agrícola y pecuaria intensiva puede resultar en procesos de degradación, desertificación o salinización que comprometen la provisión de servicios ecosistémicos (Cotler y Cuevas, 2017). Las plantas forrajeras dependen del suelo para su desarrollo, del cual requieren soporte mecánico, agua y nutrientes, en proporciones adecuadas para un rendimiento óptimo (González, 2018). Por lo tanto, si los suelos de los agostaderos están degradados o erosionados pierden su fertilidad y productividad, lo cual disminuye, a su vez, la producción forrajera y el porcentaje de utilización forrajera de las plantas (SAGARPA, 2018a).

Variable 2.1. Erosión

La erosión es uno de los procesos de degradación del suelo más importantes, puede ser por viento o agua. La lluvia es el agente erosivo más dinámico que provoca el humedecimiento y desincorporación de los agregados primarios del suelo, lo que conduce a la disminución de su capacidad de infiltración y retención de humedad (INEGI, 2015). La actividad pecuaria y agrícola puede erosionar el suelo, provocando pérdidas de sedimentos en la superficie y por tanto afectando el rendimiento de cultivos y forrajes naturales, con los que el ganado extensivo se alimenta (Gaspari *et al.*, 2009). La erosión es probablemente uno de los principales factores que contribuyen a la desertificación en México, por lo que es considerada uno de los problemas ecológicos más severos de los recursos naturales renovables de este país (Andrade *et al.*, 2012). Los suelos erosionados no son capaces de producir por su falta de fertilidad y humedad, por lo que se ve mermada la producción de forrajes en aquellos lugares donde se presenta esta condición.

Valor de función

A medida que aumenta el grado de erosión, aumenta la susceptibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

En SAGARPA (2018a) promediaron los valores de erosión actual de predios apoyados

y no apoyados por el componente Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN) localizados en el municipio, de acuerdo con el Reporte del Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera (SAEG).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 2.2. Capacidad de almacenamiento de agua

El suelo capta y almacena agua, la cual es aprovechada por la vegetación en general, como los forrajes, por lo que se reduce al mínimo la superficie de evaporación y se maximiza la eficacia y productividad en el uso del agua (FAO, 2015).

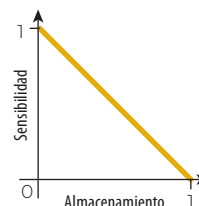
La cantidad disponible de agua que el suelo puede retener variará según la textura, el contenido de materia orgánica, la profundidad de enraizamiento y la estructura del suelo (SAGARPA, 2018a; FAO, 2015). Los suelos sanos con una elevada cantidad de materia orgánica tienen capacidad para almacenar grandes volúmenes de agua, hasta 20 veces su peso en agua. Esto es beneficioso no sólo durante épocas de déficit de agua (sequías), cuando la humedad de los suelos es crucial para el crecimiento de los cultivos, sino también durante la temporada de lluvias intensas porque disminuye la ocurrencia de inundaciones.

Por consiguiente al disminuir la capacidad del suelo de aceptar, retener, liberar y trasladar agua, se reduce la productividad de cultivos,

pastos, arbustos o árboles (FAO, 2015). A medida que aumenta la capacidad de almacenamiento, se reduce la sensibilidad de la vegetación (por ejemplo, forrajes), ya sea inducida o natural, porque tienen mayor posibilidad de disponer de agua durante el estiaje (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A mayor capacidad de almacenamiento de agua del suelo, menor susceptibilidad en la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018) determinó la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, calculando la profundidad y la textura ponderada del suelo a nivel municipal, de la siguiente manera:

1. Se calcularon las sumatorias resultantes del producto de la superficie de los polígonos de sitios de productividad forrajera por su profundidad y la textura del horizonte superficial a nivel municipal; para esto se utilizaron los valores de superficie de los sitios de productividad determinados por la COTECOCA (SARH 1978-1982), en el caso de la textura se asignó un valor de 1 para suelo de textura gruesa, de 2 para suelo con textura media y de 3 para suelo con textura fina. La profundidad y la textura de los polígonos

se calcularon con base en las subunidades de suelo de la FAO UNESCO presentes, con información de las Cartas Edafológicas del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Escala 1:1,000,000.

2. Las sumatorias resultantes se dividieron entre la superficie total de los polígonos de los sitios de productividad forrajera del municipio. Los resultados obtenidos corresponden a la profundidad ponderada o en su caso a la textura ponderada en el municipio.
3. Con base en la textura ponderada a nivel municipal se estimó por el método de interpolación lineal, la capacidad de almacenamiento de agua aprovechable en el suelo. Se tomó como referencia una lámina de 10 cm de agua aprovechable por metro de profundidad para los suelos de textura gruesa (1) o arenosos, de 19 cm de agua aprovechable por metro de profundidad para suelos de textura media (2) o francos y de 22 cm de agua aprovechable por metro de profundidad para suelo de textura fina (3) o arcillosos.
4. La capacidad de almacenamiento de agua aprovechable se estimó multiplicando la profundidad ponderada del suelo (m) por la lámina de agua aprovechable (m). Esta última fue estimada con base en la textura ponderada, el resultado se multiplicó por 100 para referir la capacidad de almacenamiento de agua en cm.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Presión sobre los recursos naturales

La demanda alimentaria que genera un aumento de población, provoca que actividades como la ganadería, que se práctica en condiciones de pastoreo, puedan ocasionar sobrepastoreo y por tanto degradación de la tierra. Lo anterior influye en la producción de forrajes naturales e inducidos y en la pérdida de la biodiversidad. Factores como el balance entre la oferta y la demanda del forraje, la presión familiar sobre la tierra y el número de potreros en los agostaderos, tienen influencia sobre la forma en cómo se usa y se aprovecha la tierra, haciendo más o menos sensible la producción forrajera. El problema de la presión sobre la tierra se agrava si se agrega un estresor como el déficit de agua, en temporada de secas o en eventos de sequías.

Variable 3.1. Balance entre la oferta y la demanda de forraje

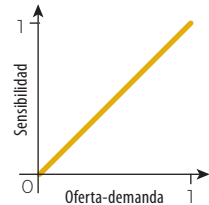
El balance entre el número de animales de pastoreo y la producción forrajera es una de las prioridades en el adecuado manejo de los pastizales de los agostaderos, de los cuales se alimenta el ganado. Lo cual se reflejará en la producción y las condiciones productivas de los agostaderos (Withe y Troxel, s/f). La oferta del forraje dependerá de la disponibilidad de los recursos forrajeros como pasturas, reservas y suplementos, mientras que la demanda se refiere a los requerimientos como mantenimiento y producción.

Cuando la demanda excede la oferta de forraje significa que puede existir sobrepastoreo

y que los animales se alimentarán mal, particularmente en condiciones de estrés hídrico, como una sequía prolongada, por lo que se deberían de utilizar reservas de forrajes, suplementos de alimentos o bien reducir el número de animales, ambos con implicaciones económicas para el productor. Por el contrario si hay un superávit de forraje, se tendrá alimento en exceso lo cual permitiría introducir más ganado al agostadero (Kunts, 2003).

Valor de función

A mayor balance oferta-demanda, mayor susceptibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

Datos proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

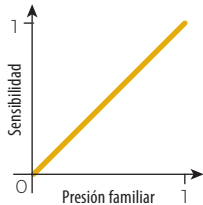
Variable 3.2. Presión familiar sobre la tierra

El grado de utilización de los recursos naturales en los predios ganaderos depende en gran medida de la cantidad de ganado que se introduzca en los potreros. Es común que conforme aumentan las necesidades de ingresos familiares, por una mayor cantidad de dependientes económicos, los dueños de la tierra busquen obtener más ingresos, introduciendo

do una mayor cantidad de ganado de la que pueden sostener sus tierras (SAGARPA, 2018a). Lo cual puede conducir a un sobrepastoreo y por lo tanto tener implicaciones negativas en la producción de forrajes, ya que se necesitará mayor cantidad de alimento del que se dispone. Lo anterior se puede agravar en época de estiaje o ante eventos de sequía, por la falta de alimento y la aparición de vegetación invasora en los agostaderos.

Valor de función

A medida que aumenta la presión familiar sobre la tierra, aumenta la susceptibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

Esta variable se obtuvo al dividir la superficie promedio de la Unidad de Producción Pecuaria (UPP) entre el número promedio de los integrantes de familia (el propietario o poseionario de la tierra más sus dependientes económicos) (SAGARPA, 2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 3.3. Número de potreros por UPP

Los potreros forman parte de la infraestructura básica para el control del pastoreo y manejo del ganado; son necesarios para llevar a cabo diversas actividades dentro de una misma

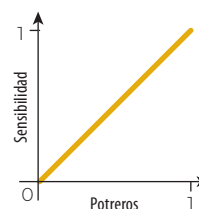
unidad de producción como la agricultura, silvicultura, entre otras. El uso de los potreros es necesario para implementar un buen sistema de pastoreo, el cual permitirá que las plantas se recuperen y se reproduzcan, así como para mejorar el suelo para proveer forraje de buena calidad al ganado (SAGARPA, 2018a). Una de las alternativas para un buen manejo de los agostaderos, es la rotación de los potreros, la cual ayuda a evitar que la actividad ganadera contamine las fuentes y los cauces de agua, y, además, mejora la distribución de la fertilización orgánica producida por el estiércol y la orina de los animales. Es un sistema de pastoreo donde se alterna en forma adecuada el periodo de uso con el tiempo de descanso del potrero (Anzola y Giraldo, 2015).

El número de potreros que deben tener las Unidades de Producción Pecuarias para implementar un sistema de pastoreo rotacional está en función de las condiciones ambientales prevalecientes (agua y temperatura), de los requerimientos específicos de manejo para la recuperación de la vegetación y del suelo, y de otras actividades productivas que se realizan en las UPP. Es necesario que las UPP cuenten con el número apropiado de potreros y de un manejo sustentable y flexible que permita conservar, mejorar y/o recuperar las tierras ganaderas, a fin de disminuir la sensibilidad de los ecosistemas y de la producción animal. Además permite una mejor flexibilidad en condiciones cambiantes de mercado ya que facilita la diversificación productiva (SAGARPA, 2018a). Con un manejo apropiado del pastoreo y de los potreros, se tendrá seguridad alimentaria

para el ganado, ante eventos como las sequías o bien en temporadas críticas como en la época de secas.

Valor de función

A mayor número de potreros, menor sensibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

El número de potreros que se requieren varía de acuerdo con la región ecológica y están en función del tiempo aproximado que las plantas tardan en recuperarse tras el pastoreo. El nivel de sensibilidad depende del número de días que el ganado permanece en un mismo potrero, según valores obtenidos por la DGA de COTECOCA (SAGARPA, 2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 4. Producción forrajera

La alimentación animal es el factor de producción más importante para la cría y la producción del ganado, ya que es necesario para su buen desarrollo físico y finalización; así como para su adecuada reproducción y salud. Existen diversas fuentes de alimento para el ganado, sin embargo, en los sistemas exten-

sivos de producción ganadera la mayor parte del alimento se obtiene directamente de la vegetación nativa, mediante el pastoreo. Mientras que otra parte es suministrada por otras fuentes de alimentación (esquilmos agrícolas, cultivos forrajeros, granos y concentrados) (SAGARPA, 2018a). El forraje es uno de los principales alimentos para el ganado, por lo tanto, si existe una buena producción forrajera y un buen manejo de la misma, se asegura la disponibilidad de alimento, sobre todo en temporadas de estiaje y sequías prolongadas. Existen diversos factores que influyen en la producción de forrajes, como las características del forraje (altura y ramificación de la planta), factores ambientales (suelo, lluvia, temperatura, viento, entre otros) e incluso factores antrópicos (manejo de ganado y pastoreo) (Osuna-Ceja *et al.*, 2015). La producción de forrajes puede verse afectada por el uso excesivo de la carga animal, causando sobrepastoreo, compactación y deterioro del forraje. Por el contrario el uso de cargas animales bajas, provoca un exceso de forraje que, al no ser consumido en su totalidad, puede pasar de una consistencia herbácea a una leñosa, perdiendo calidad y creando un ambiente propicio para plagas y enfermedades. En los períodos prolongados de sequía, si las especies no son tolerantes a ésta, la producción de forraje disminuye y aumenta la pérdida de plantas y la invasión de malezas. Las deficiencias de fijación de nitrógeno y fósforo en el suelo pueden ocasionar una baja productividad y deterioro de un agostadero. Las plagas en los forrajes pueden provocar la muerte de las plantas y por tanto una baja en la producción (Franco *et al.*, 2006).

Variable 4.1. Coeficiente de agostadero ponderado

Los agostaderos son las tierras con vegetación natural o inducida que se utilizan para la cría de ganado en condiciones de pastoreo, proveen de forraje y de otros elementos vitales para el ganado y la fauna silvestre. La productividad del agostadero depende de las condiciones de clima, suelo, altitud, topografía y manejo de ganado; estos factores determinan la capacidad para la producción de forraje. Es necesario conocer la cantidad de forraje disponible en el agostadero para no introducir más ganado del que se puede mantener y evitar problemas de sobrepastoreo, sobre todo si existe estrés hídrico, ya que se pueden tener implicaciones negativas (Beltrán y Loredó, 2005).

La estimación de animales que se pueden mantener en un predio se determina por medio del coeficiente de agostadero. Se define como la superficie necesaria para mantener una vaca con su cría (Unidad Animal) durante un año, o su equivalente en ganado mayor o menor, sin deteriorar los recursos naturales. No contempla el suministro de otras fuentes de alimentación animal y es un indicativo de la producción forrajera, ya que se determinan con base en ésta (SAGARPA, 2018a).

Para el manejo del agostadero es necesario conocer su condición, la cual se define como el estado actual de salud y productividad, con respecto a su potencial. Un mismo sitio de productividad forrajera, de acuerdo con el grado de deterioro y/o productividad forrajera que tenga, se puede clasificar de la siguiente manera:

“Pobre”, “Regular”, “Buena” y “Excelente”, siendo esta última condición la que corresponde a los agostaderos menos deteriorados y productivos. La condición “Pobre” corresponde a las tierras más degradadas y menos productivas, por lo cual para un mismo sitio de productividad forrajera el coeficiente de agostadero puede variar de acuerdo con la condición que presentan. Corresponde el menor coeficiente de agostadero a la condición “Excelente” y el mayor a la condición “Pobre” (SAGARPA, 2018a; SEMARNAT, 2014).

En México, con fines de tenencia de la tierra, los coeficientes de agostadero fueron determinados con base en forraje aprovechable (40 al 60% de la producción forrajera total) de vegetación natural o inducida, en la condición “Buena” y en años de precipitación pluvial normal. El coeficiente de agostadero es inversamente proporcional a la producción forrajera.

El coeficiente de agostadero permite estimar la capacidad de carga animal inicial que debe de considerar un programa de manejo sustentable de las tierras ganaderas; sin embargo, es necesario realizar los ajustes correspondientes de acuerdo con las condiciones ambientales, la condición y la tendencia que presenten (SAGARPA, 2018a). Por ejemplo, en el caso de sequías prolongadas, es necesario tomar medidas respecto al ganado y su alimentación y de esta manera no generar pérdidas.

Valor de función

A menor coeficiente de agostadero, mayor producción forrajera y, por tanto, menor susceptibilidad ante estrés hídrico.



Observaciones

De acuerdo con SAGARPA (2018a), el coeficiente de agostadero ponderado se determinó considerando la capacidad de carga de los agostaderos y las praderas cultivadas del municipio. La capacidad de carga de los agostaderos se obtuvo al dividir la superficie con vegetación nativa entre el coeficiente de agostadero municipal de vegetación nativa. Asimismo, la capacidad de carga animal de las praderas cultivadas se determinó al dividir la superficie de praderas entre su coeficiente de agostadero municipal con base en praderas. Ambos coeficientes de agostaderos fueron determinados por la DGA de COTECOCA.

Unidad de agregación

Municipio.

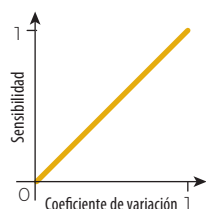
Variable 4.2. Variabilidad en la producción forrajera

La producción de forraje en los agostaderos y praderas es sumamente variable, entre años y en las diferentes épocas del año. Depende de la cantidad y distribución de la precipitación, así como de la presencia de bajas temperaturas; los cambios son más agudos a medida que aumenta el deterioro del suelo y de la vegetación (SAGARPA, 2018a). Lo anterior puede provocar que la producción de forraje sea casi nula

en determinadas épocas del año, y una elevada producción al inicio de la estación de crecimiento. Por lo anterior, los productores deben de proporcionar suplementos alimenticios al ganado en épocas de escasez de forraje (época de estiaje o de sequías) y mantener cargas superiores en las épocas de máxima producción (Sosa *et al.*, 1998). El coeficiente de variación se considera un buen criterio para determinar la susceptibilidad en la producción forrajera (SAGARPA, 2018a), porque sirve para caracterizar la variabilidad de ésta, especialmente por las condiciones de estrés hídrico prevalentes entre años (García, 2003; Alegre y Cladera, 2002).

Valor de función

A mayor coeficiente de variación, mayor susceptibilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

Esta variable fue obtenida por SAGARPA (2018a). La producción de forraje aprovechable fue estimada por la DGA de COTECOCA con información de los Reportes de los Sistema Nacional de Monitoreo Satelital Orientado a la Ganadería o SIMSOG. Usaron los índices de vegetación IVIS parametrizados en curva espectral anual del crecimiento de todos los tipos de vegetación presentes en el municipio (TUSG), durante el periodo 2000-2012.

Se consideraron índices de seguimiento que correspondieron al Pico 2 de crecimiento y a la Depresión 1 de las curvas de crecimiento vegetal, que pertenecen al periodo principal de crecimiento de la vegetación. La estimación realizada consideró el volumen total de biomasa producida en esta temporada, la condición aproximada de los agostaderos, el porcentaje de utilización forrajera recomendado de acuerdo con las zonas ecológicas y el porcentaje de áreas accesibles para el ganado.

El coeficiente de variación lo obtuvieron al dividir la desviación estándar entre la media aritmética de las producciones forrajeras del 2000 al 2012 y el resultado se multiplicó por 100.

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - COLPOS-SAGARPA (2012). *Reportes del Sistema Nacional de Monitoreo Satelital Orientado a la Ganadería o SIMSOG*. [tabla excel].

Variable 1.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).

- COLPOS-SAGARPA (2012). *Red Extendida del Sistema Nacional de Monitoreo Terrestre Orientado a la Ganadería*. [tabla excel]. El porcentaje total de cobertura de copa de árboles y arbustos fue determinado por la DGA, usando la información de la Red Extendida del Sistema Nacional de Monitoreo Terrestre Orientado a la Ganadería.
- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile]. Las superficies de los grupos de vegetación se obtuvieron de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación.
- SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel]. El porcentaje relativo de árboles y arbustos perennifolio fue estimado por la DGA de COTECOCA con información de las *Monografías Estatales o Regionales de Coeficientes de Agostadero*.

Variable 1.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- Savory, A. (2005). *Manejo holístico un nuevo marco metodológico para la toma de decisiones*. [tabla excel].

Variable 1.4

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007.

[shapefile]. Las superficies de los grupos de vegetación se obtuvieron de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación.

- SAEG (2012). *Reporte del Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera*. [tabla excel]. La escala de resistencia de la vegetación a nivel municipal se determinó por personal técnico de la COTECOCA.

Variable 2.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- SAEG (2012). *Reporte del Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera*. [tabla excel].

Variable 2.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel]. Se obtuvieron la superficie de los polígonos de los sitios de productividad forrajera y su pendiente media.
- INEGI (2013). *Carta edafológica*. [shapefile]. La profundidad media del suelo y su textura se calcularon con base en estas cartas edafológicas.

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).

- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile]. La capacidad de carga animal (oferta) fue determinada por la DGA de COTECOCA a partir de las superficies de agostadero, praderas cultivadas y zonas agrícolas de la Serie IV del INEGI y de los coeficientes de agostadero y capacidad forrajera de las praderas y zonas agrícolas.
- INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv]. La demanda de forraje fue determinada por la DGA de COTECOCA con base en estimaciones realizadas con información del Censo Agropecuario y Forestal 2007 del INEGI y la tabla de equivalencia de Unidades Animal.

Variable 3.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. La superficie de la UPP y el número de dependientes económicos del propietario o posesionario se obtuvieron de las encuestas de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN realizadas por la FedMVZ en las UPP con ganado Bovino Carne y Doble Propósito.

Variable 3.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- SAGARPA (2003-2007). *Informe PROGRAN Productivo*. [tabla excel]. El número promedio de potreros a nivel municipal se determinó con reporte depurado del informe de la base de datos del PROGAN 2003-2007.

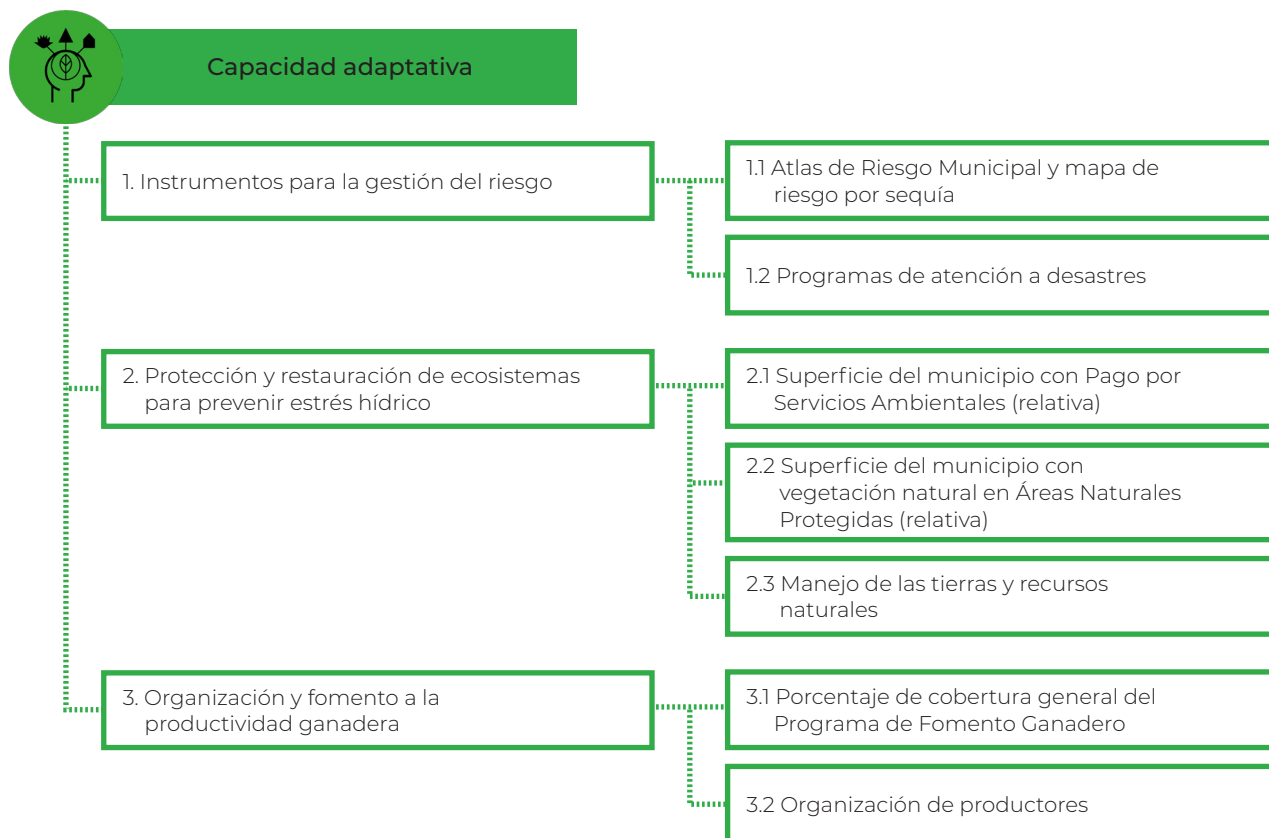
Variable 4.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- SAR. (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel]. Se obtuvieron los Coeficientes de Agostadero.
- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile]. Las superficies con vegetación nativa y de praderas cultivadas se obtuvieron de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación.

Variable 4.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- COLPOS-SAGARPA (2012). *Reportes del Sistema Nacional de Monitoreo Satelital Orientado a la Ganadería o SIMSOC*. [tabla excel].

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Instrumentos para la gestión del riesgo

Por lo general las actividades agropecuarias presentan mayor vulnerabilidad ante la presencia de contingencias climatológicas, particularmente aquellas relacionadas con la falta o el exceso de precipitación pluvial, y, en menor escala, aunque cada vez con mayor frecuencia, las temperaturas extremas (FAO, 2014).

El criterio de instrumentos para la gestión del riesgo toma en cuenta la formulación de planes y programas dirigidos a implementar medidas de prevención ante inundaciones y

sequías. La gestión del riesgo permite conocer los peligros a los que se está expuesto ante la variabilidad climática y el cambio climático, además integra los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados (Ulloa, 2011). Por lo tanto, la existencia de instrumentos de gestión del riesgo a nivel municipal es un elemento muy importante para promover los esfuerzos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad (UNISDR, 2009).

Variable 1.1. Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por sequía

Esta herramienta apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a sequías en el municipio, así como los elementos vulnerables ante este fenómeno. Apoya la planeación territorial al identificar las zonas de riesgo para la seguridad de la población e infraestructura, incluso para zonas de producción agropecuaria.

Valor de función

0 - Indica que no tiene un atlas de riesgo municipal

1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no con un mapa de sequía.

2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y un mapa de sequía.

Aumenta la capacidad adaptativa de la producción forrajera ante estrés hídrico, si se cumple 1 y 2.

Observaciones

Información generada con base en la revisión de los Atlas de Riesgo de cada municipio. Los fenómenos meteorológicos que se integran en el atlas de riesgo municipal son:

■ Sequía

- Heladas
- Tormentas eléctricas
- Tormentas de granizo y de nieve
- Inundaciones
- Ondas gélidas y cálidas
- Ciclones tropicales
- Viento

- Tornados
- Erosión y acreción costera

La información de las condiciones 0, 1 y 2 se normalizó para tener la contribución de cada una de ellas entre los valores de 0 y 1.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Programas de atención a desastres

La ayuda del programa de atención a desastres es una componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos: terremoto, erupción volcánica, maremoto y movimiento de ladera. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoque afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018b).

Valor de función

0 - Indica que el productor no ha tenido apoyo del programa.

1 - Indica que el productor sí ha tenido apoyo del programa.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir estrés hídrico

En México existen serios problemas de degradación del suelo en las tierras de pastoreo, cuya consecuencia es la reducción de los productos y servicios que se obtienen de éstas, como forrajes, agua y áreas de recreación, asociado a una disminución en los inventarios ganaderos (INECC, 2016). El agua es el principal factor que limita la producción vegetal en la mayoría de los agostaderos, cuya fuente principal proviene de la precipitación pluvial. Una parte de esta agua se mueve de manera lateral por escurrimiento hacia las corrientes, lagos, presas y el mar; mientras que otra porción es retenida por medio del proceso de infiltración, y es el agua disponible para las plantas. Parte de la humedad que se infiltra se mueve hacia capas inferiores del suelo y alcanza corrientes subterráneas y manantiales. Una de las principales características de un agostadero saludable es una buena cubierta vegetal, ya que un suelo desnudo permite que haya escurrimientos de agua que arrastran sedimentos y nutrientes del suelo dando como resultado la erosión, pastizales menos productivos y deterioro en la calidad del agua. Por otra parte, una buena cubierta vegetal mantiene una baja temperatura del suelo y lo protege del tráfico animal y mecánico, lo cual incrementa la capacidad del suelo para capturar el agua de lluvia. Los suelos que pueden capturar el agua producen más forraje y de mayor calidad, además se reducen la severidad, el impacto y los riesgos financieros de eventos como la sequía (González y Ávila, 2010).

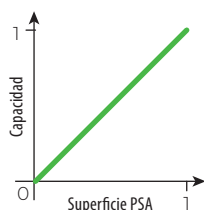
Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (OEA, 2008). La protección del suelo ante la erosión; el control de los escurrimientos y por tanto de los azolves, el mantenimiento de la tasa de infiltración y del balance hidrológico, la conservación de la biodiversidad genética, la protección al hábitat de la fauna silvestre y la producción forrajera y ganadera, se verían favorecidos por la restauración de la vegetación de los agostaderos y su manejo adecuado (INE, 1994).

Variable 2.1. Superficie del municipio con Pago por Servicios Ambientales (relativa)

Se consideran las áreas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Representa la presencia de criterios en las masas forestales que promueven la conservación al dar incentivos económicos a los usuarios del suelo, para que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficia a la sociedad (CONANP, 2010).

Valor de función

A mayor superficie elegible para el esquema de pagos por servicios ambientales, mayor capacidad adaptativa de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

A través de estudios e investigaciones realizados por la CONAFOR, se definen las áreas elegibles en ecosistemas forestales de México. El valor relativo se obtuvo al calcular el total y el porcentaje del área con PSA, que permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

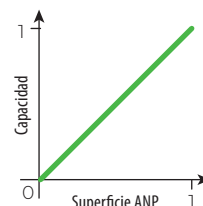
Municipio.

Variable 2.2. Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativa)

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos (OEA, 2008). El beneficio directo, relacionado con la problemática abordada, de los servicios proveídos por las áreas conservadas, es incrementar la capacidad del suelo para retener la lluvia y promover los procesos de infiltración y de escurrimiento sub-superficial. Áreas con suelos conservados producen más forraje y de mayor calidad, además de reducir la severidad, el impacto y los riesgos financieros en época de estiaje y sequías (González y Ávila, 2010).

Valor de función

A mayor superficie del municipio con vegetación natural en área natural protegida, mayor capacidad adaptativa de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje de la superficie municipal a través de Áreas Naturales Protegidas, lo cual permite no sobrestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

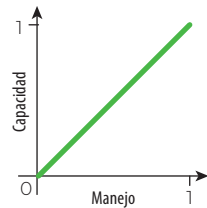
Variable 2.3. Manejo de las tierras y recursos naturales

El manejo y la conservación de los recursos naturales en los predios ganaderos son de suma importancia en la producción animal. Puesto que la calidad de la dieta del ganado, el confort animal y la conservación de los recursos base de la ganadería extensiva para la producción animal (suelo, agua y vegetación), están en función del manejo del pastoreo, del ganado y las medidas de conservación de la vegetación y la fauna. En este sentido la asistencia técnica es esencial para incrementar la producción animal de una manera sustentable, y no sobrepastorear los agostaderos. Es importante considerar si se cuenta con este servicio, su frecuencia y su calidad (SAGARPA, 2018a). De esta manera

los productores pueden enfrentar de una mejor forma las contingencias en temporadas de lluvias escasas, reflejándose en pocas pérdidas de ganado y forraje e incluso en la reposición de los mismos después de eventos como sequías.

Valor de función

Ante un mejor manejo de las tierras y recursos naturales, mayor capacidad adaptativa de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

Para el cálculo se utilizaron los datos de asistencia técnica y de manejo y conservación de los recursos naturales de los resultados de las encuestas de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo, correspondientes a ganado Bovino Carne y Doble Propósito, realizadas por la FedMVZ y proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Organización y fomento a la productividad ganadera

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tecnológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sani-

tarias, integración vertical y horizontal (rastros, empacadoras, fábricas de alimentos y medicamentos, etc.) (FAO, s/f). Ante desastres causados por estrés hídrico, los productores pueden perder o gastar en su totalidad el forraje disponible para el ganado, por lo que es importante disponer de recursos para comprar alimento suplementario o forraje para mantener la producción de ganado. Ante este escenario, ser integrante de una organización puede ayudar a gestionar apoyos económicos derivados de programas gubernamentales con los cuales se pueda afrontar el problema de alimento.

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Son actores clave tanto en la organización económica como para brindar diversos servicios a sus agremiados (representación, gestoría, asistencia técnica, compra de insumos, entre otras), la promoción del fomento ganadero y para atender diversos tipos de problemática, entre los que se debe de contemplar el cambio climático, que inciden en la producción y en la competitividad del sector (SAGARPA, 2018a).

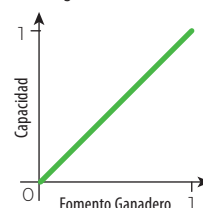
Variable 3.1. Porcentaje de cobertura general del Programa de Fomento Ganadero

El Programa de Fomento Ganadero es el programa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación que tiene como objetivo contribuir al aumento de la productividad de las unidades económicas pecuarias mediante la inversión en este sector. Entrega apoyos monetarios a los productores

pecuarios para incrementar la producción de alimentos de origen animal en las unidades económicas pecuarias. Los nombres de los componentes y su disponibilidad han variado de 2013 a 2017 (SAGARPA, 2018a), pero actualmente los incentivos económicos para las UPP se pueden agrupar en cinco componentes: 1) Componente de Capitalización Productiva Pecuaria, que se centra en la adquisición de activos productivos, infraestructura, maquinaria y equipo, perforación de pozos, repoblamiento y rescate de hembras, que contribuya al incremento de su productividad. 2) Componente de Sustentabilidad Pecuaria para adquisición de bienes de apoyo que minimicen los efectos de los desechos, la mejora del control biológico de las explotaciones, así como para restablecer ecológicamente los recursos naturales de la ganadería rehabilitando agostaderos y mejorando las tierras de pastoreo. 3) Componente PROGAN Productivo, para incentivar la productividad de las especies pecuarias. 4) Componente de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico Pecuarios, en el cual se incentiva la adquisición de activos que permitan un cambio tecnológico sustantivo en la actividad ganadera. 5) Componente de Estrategias Integrales para la Cadena Productiva, que tiene como objetivo incrementar la productividad a través de incentivos a la posproducción pecuaria, recría pecuaria, reproducción y material genético pecuario, manejo de ganado, ganado alimentario y sistemas de productos pecuarios (SAN, 2018). Contar con apoyos favorece la producción forrajera e incluso puede aumentar la capacidad adaptativa ante desastres como las sequías prolongadas.

Valor de función

A mayor cobertura del Programa de Fomento Ganadero, mayor capacidad adaptativa de la producción forrajera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) consideró los componentes de PROGAN Productivo, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, capitalización productiva pecuaria, productividad pecuaria, bioseguridad pecuaria y manejo posproductivo, con los cuales se obtuvieron:

1. El porcentaje de la superficie ganadera apoyada por el PROGAN Productivo en el municipio.
2. El porcentaje de las UPP apoyadas en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 3.2. Organización de productores

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Brindan diversos servicios (representación, gestoría, asistencia técnica, compra de insumos, entre otras), la promoción del fomento ganadero y brindan diversos servicios (representación, gestoría, asistencia técnica, compra de insumos, entre otras), para

el fomento ganadero (SAGARPA, 2018a). Al formar parte de una organización de productores se puede conocer y gestionar algún apoyo por parte de alguna institución gubernamental, sobre todo ante algún evento hidrometeorológico, ya sea por exceso o déficit de precipitación.

Valor de función

0 - Indica que no hay organizaciones ganaderas en el municipio.

1 - Indica que hay organizaciones ganaderas en el municipio.

Observaciones

Datos proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CENAPRED (2010-2018). “Cobertura de Atlas Municipales” [shapefile].

Variable 1.2

1. SADER (2018). “Monto y número de hectáreas y/o unidades animal apoyadas de SAGARPA” (archivo de texto csv). Datos Abiertos.

Variable 2.1

1. CONAFOR (2015-2018). *Pago por servicios ambientales*. [shapefile].

Variable 2.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].

2. CONANP (2010). *Áreas Naturales Protegidas*. [shapefile].
3. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas*. [shapefile].

Variable 2.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - FedMVZ. (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. La información de Manejo de las Tierras y Recursos Naturales se determinó con base en los resultados de esta encuesta, correspondientes a Ganado Bovino Carne y Doble Propósito.

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo*. [shapefile]. La información de Superficie Ganadera y Unidades de Producción Pecuarias de ganado Bovino Carne y Doble Propósito, se obtuvo de reportes del Sistema de Información SIPROGAN P.
 - INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv]
 - SAGARPA (2013-2017). *Listado de beneficiarios del Programa de Fomento Ganadero*. [tabla excel]. La informa-

ción de las solicitudes, monto de los apoyos y productores beneficiarios por otros componentes distintos, se obtuvo del Portal de Obligaciones de Transparencia de la SAGARPA.

Variable 3.2

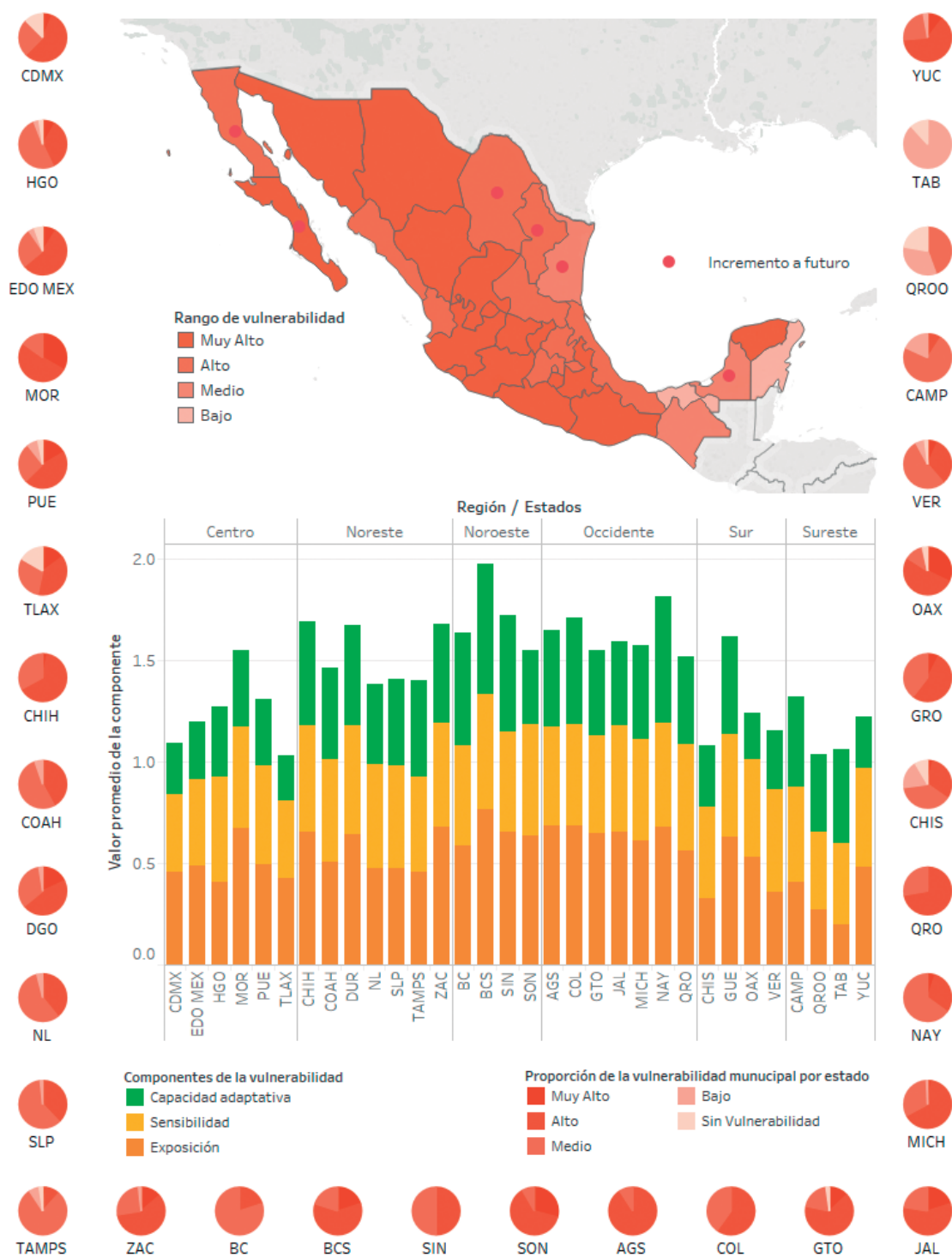
1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SAGARPA (2017). *Asociaciones Ganaderas Locales Generales*. [tabla excel] (Comunicación interinstitucional). El número total de Asociaciones Ganaderas Locales Generales por municipio, de ganado bovino y ganaderas especializadas en ganado ovino y caprino, se obtuvo del oficio núm. 03.01.25254/2017 de la Dirección del Registro Nacional Agropecuario del 7 de diciembre de 2017.
 - INEGI. (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv]. Se obtuvo el número total de Unidades de Producción Pecuarias con rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos) y el número total de rumiantes, referidos en Unidades Animal.
 - *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo*. [shapefile]. En el caso de municipios cuyo número total de Unidades de Producción Pecuarias y rumiantes apoyados por el PROGAN (2013-2017) sea superior a los obtenidos con información del INEGI se tomó en consideración la información del PROGAN.

En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de la producción forrajera ante estrés hídrico por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alto a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Mapa 8.1. Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico



Referencias

- Alegre Martín, J. y Cladera Munar, M. (2002). *Introducción a la estadística descriptiva para economistas*. España: Universitat de les Illes Balears. Recuperado de: <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/Herramientas/Estadistica-descriptiva.PDF>
- Andrade Limas, E., Belmonte Serrato, F., Castro Meza, B. I., García Fernández, G., De la Garza Requena, F., Rivera Ortiz, P., Romero Díaz, A. y Ruíz Sinoaga, J. D. (2012). *Erosión y degradación de suelos en ambientes semiáridos de Tamaulipas (México): regiones norte y altiplano*. España: Editum Miradas. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Serrato/publication/266969227_Erosion_y_degradacion_de_suelos_en_ambientes_semiaridos_de_Tamaulipas_Mexico_Regiones_Norte_y_Altiplano/links/55485df70cf2b0cf7aceb9e7/Erosion-y-degradacion-de-suelos-en-ambientes-semiaridos-de-Tamaulipas-Mexico-Regiones-Norte-y-Altiplano.pdf
- Ángel Sánchez, Y. K., Pimentel Tapia, M. E. y Suárez Salazar, J. C. (2017). Importancia cultural de la vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a17.pdf>
- Anzola Vásquez, H. J. y Giraldo, Z. V. (2015). A mayor cantidad de potreros, mayor disponibilidad de forraje. *Carta Fedegán*. Recuperado de: http://static.fedegan.org.co/Revistas_Carta_Fedegan/149/30CIENCIA%20Y%20TECNOLOGIA%20CC%81A%20_A%20MAYOR%20CANTIDAD%20DE%20POTREROS,%20MAYOR%20DISPONIBILIDAD%20DE%20FORRAJE_.pdf
- Beltrán López, S. y Loredó Osti, C. (2005). ¿Cuántos animales puedo pastorear en mi agostadero? *INIFAP*. Recuperado de: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/291/101.pdf?sequence=1>
- Bustamante Guerrero, J. J. (2004). *Estrategias de alimentación para la ganadería bovina en Nayarit. Folleto para productores Núm. 1*. México: INIFAP-SAGARPA.
- Calle Díaz, Z. y Murgueitio, E. (2015). Conservación de los suelos ganaderos: un tema pertinente en tiempos de sequía. *Engormix*. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/conservacion-suelos-ganaderos-tema-t32265.htm>
- Cardoza, V. R., Cuevas, F. L., García, C. J. S., Guerrero, H. J. A., González, O. J. C., Hernández, M. H., Lira, Q. M. L., Nieves, F. J. L., Tejeda, S. D. y Vázquez, M. C. M. (2006). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas*. México: CONAFOR.
- CONANP (2010). Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/pago-por-servicios-ambientales-en-areas-naturales-protegidas>
- Cornejo-Ayala, F. N. (2006). *Análisis del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones en la séptima región del Maule* (tesis de licenciatura). Chile: Universidad de Talca. Recuperado de: http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/cornejo_ayala_f.pdf
- Cotler Ávalos, H. y Cuevas Fernández, M. L. (2017). *Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México*. México: Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A.C.
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J. L. y González, D. (2010). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. En Cotler H. (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- Enríquez Quiroz, J. F., Meléndez Nava, F., Bolaños Aguilar, E. D. y Esqueda Esquivel, V. A. (2011). *Producción y manejo de forrajes tropicales*. México: INIFAP-SAGARPA.
- FAO (2015). *Los suelos almacenan y filtran agua*. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils2015/docs/Fact_sheets/print_IYS_Water_es.pdf
- FAO (2014). La gestión de riesgos climáticos catastróficos para el sector agropecuario en México: caso del Componente para la Atención a Desastres Naturales para el Sector Agropecuario. Recuperado de: <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13954329605800/cadena.pdf>
- FAO (2007). *Secuestro de carbono en tierras áridas. Informes sobre recursos mundiales de suelos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf>
- FAO (s/f). La organización de los productores en el contexto de la globalización: la experiencia de la confederación nacional ganadera. Recupera-

- do de: <http://www.fao.org/docrep/007/AD727S/AD727S05.htm>. Consultado en agosto 2018
- Franco, L. H., Calero, D. y Durán, C. (2006). *Manejo y Utilización de Forrajes Multipropósito. Proyecto: Evaluación de tecnologías por métodos participativos para la implementación de sistemas ganaderos sostenibles en el norte del departamento del Valle del Cauca*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5052/1/9789584411754.pdf>
- García, E. (2003a). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 50:67-76.
- García, J. A. (2003). Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Uruguay: Unidad de Agroingresos y Difusión del INIA. Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2878/1/15630191107142500.pdf>
- Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Denegri, G. A. (2009). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelos por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana* 27(1):43-51.
- González, K. (2018). Los suelos en la producción de plantas forrajeras. *Zootecnia y Veterinaria*. Recuperado de: <https://zoovetespasion.com/pastos-y-forrajes/los-suelos-en-la-produccion-de-plantas-forrajeras/>
- González Valenzuela, E. A. y Ávila Curiel, J. M. (2010). *Manejo de la sequía en ranchos ganaderos del noreste de México*. México: INIFAP-SAGARPA.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Recuperado de: <http://revistas.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfalV2148.pdf>
- Hernández, I. y Simón, L. (1993). Los sistemas silvopastoriles: Empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. *Pastos y Forrajes*. Recuperado de: <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1201&path%5B%5D=703>
- Hernández Cerda, M. E., Carrasco Anaya, G. y Alfaro Sánchez, G. (2007). *Mitos y realidades de la sequía en México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- INATEC (S/F). *Manual del protagonista. Pastos y forrajes*. Instituto Nacional tecnológico. Dirección General de Formación Profesional..
- INE (1994). *Manejo y rehabilitación de agostadero de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte)*. México: INE.
- INECC (2016). *Costos y beneficios de la agricultura de conservación y la ganadería planificada en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND). Informe final*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INEGI (2015). Estadísticas a propósito del día mundial del suelo (5 de diciembre). Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/suelo0.pdf>
- Kanellopoulou, E. A. (2002). Spatial distribution of rainfall seasonality in Greece. *Weather* 57(6):215-219. Doi: <https://doi.org/10.1256/004316502760053576>
- Kunst, C. (2003). *Qué es un balance forrajero*. Argentina: Grupo de Producción Animal. Recuperado de: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/75-que_es_un_balance_forrajero.pdf
- Méndez, G. J., Nívar, C. J. J. y González, O. V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 65:38.
- Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P. A., González-Rodríguez y H., Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Rev. Mex. de Cienc. Pecuarias*. Recuperado de: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3193/2618>
- Neira Méndez, F. H. (2006). *Assessment of climate indices in drylands of Colombia*. Bélgica: Universiteit Gent.
- OEА (2008). *Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe*. Documento borrador. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo sostenible.
- Osuna-Ceja, E. S., Arias-Chávez, L. E., Núñez-Hernández, G. y González Castañeda, F. (2015). Producción de forrajes de temporal con estiércol bovino y captación de agua en siembra a triple hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750004>

- Rzedowski, J. (2006). *Matorral xerófilo en vegetación de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC15.pdf>
- SAGARPA (2018a). *Comunicación personal y archivo electrónicos con las variables de sensibilidad de la Ganadería Extensiva al Cambio Climático*. México: SAGARPA/Coordinación General de Ganadería/Dirección General Adjunta de COTECOCA/Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios.
- SAGARPA (2018b). Componente Atención a Sinietros Agropecuarios 2018. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-atencion-a-siniestros-agropecuarios-2018>
- SAN (2018). Programa de Fomento Ganadero. Plataforma de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Recuperado de: <https://plataformacelac.org/programa/376>
- Sánchez, S. N. y Garduño, L. R. (2008). *Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática*. *ContactoS* 68:5-10.
- Savory, A. (2005). *Manejo holístico: un nuevo marco metodológico para la toma de decisiones*. México: Talleres de Profesionales Gráficos de México.
- SEMARNAT (2016). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño AmbientalydeCrecimientoVerde. Recuperadode: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SEMARNAT (2014). Coeficientes de agostadero por entidad. Recuperado de: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AGRIGAN04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*
- Sosa, R. E. E., Díaz, S. H., Pérez, R. L. y Morones, R. R. (1998). Producción estacional de especies forrajeras perennes hK Monocultivo y Mezcla. *Tec. Pecu. Mex.* Recuperado de: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view-File/642/640>
- Troyo Diéguez, E., Mercado Mancera, G., García Hernández, J. L., Nieto Garibay, A., Fenech Larios, L., Beltrán Morales, F. A. y Murillo Amador, B. (s/f). Aplicación de índices de aridez y modificación escalar del índice de Martonne para adecuarlo a las condiciones hidroclimáticas de zonas áridas y semiáridas. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Bernardo_Amador/publication/255634156_Aplicacion_de_Indices_de_Aridez_y_Modificacion_Escalar_del_Indice_de_Martonne_para_Adecuarlo_a_las_Condiciones_Hidroclimaticas_de_Zonas_Aridas_y_Semiaridas/links/00b7d53b414ba73c9f000000/Aplicacion-de-Indices-de-Aridez-y-Modificacion-Escalar-del-Indice-de-Martonne-para-Adecuarlo-a-las-Condicion-Hidro-climaticas-de-Zonas-Aridas-y-Semiaridas.pdf
- UGRJ (2018). Manejo del pastoreo en pastizales nativos. Recuperado de: http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=434
- Ulloa, F. (2011) El entorno y la gestión del riesgo de desastre. En UNESCO. *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf>
- UNESCO (1982). *Desarrollo de tierras áridas y semiáridas, obstáculos y perspectiva*. España: Serbal.
- UNISDR (2009). Terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). Recuperado de: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Urrutia, M. J, Ochoa, C.M y Beltrán, L.S (2000). *Ovinocultura de agostadero en el Norte de México. Prácticas de manejo y mejoramiento*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Villagra, P. E, Giordano, C., Álvarez, J. A., Cavagnaro, J. B., Guevara, A., Sartor, C., Passera, C. B. y Greco, S. (2011). Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecol. Austral*. Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1667-782X2011000100004
- Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time *Weather* 36(7):201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>
- White, L. y Troxel, T. R., (s/f). Balance entre la producción y demanda de forraje de los pastizales. *Agri-LifeExtensión*. Recuperado de: https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87061/pdf_1485.pdf?sequence=1



▲ Producción forrajera en Guanajuato, 2008. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/lucynieto/2574878699/in/photostream/>



9

Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico





Ficha técnica

Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico

Grupo de trabajo:	Actividades económicas
Objeto vulnerable:	Producción ganadera
Unidad de agregación:	Municipal

El resultado, diseño, desarrollo e implementación de la Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico, incluida en el ANVCC, es producto de la colaboración entre el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Coordinación General de Ganadería-Dirección General Adjunta de Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)-Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). De esta manera, se aporta a la meta comprometida por SAGARPA en el Programa Especial de Cambio Climático (2014-2018) en su Línea de Acción 1.4.3: “Elaborar el atlas municipal de la vulnerabilidad ambiental de la ganadería extensiva al cambio climático”; Estrategia 1.4: “Fomentar acciones de adaptación en los sectores productivos”; y Objetivo 1: “Reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de la población y la resistencia de la infraestructura estratégica”.

La ganadería que se desarrollan en tierras secas, contiene más de la mitad del ganado vacuno del mundo, más de un tercio del ovino y dos tercios del caprino. En estas re-

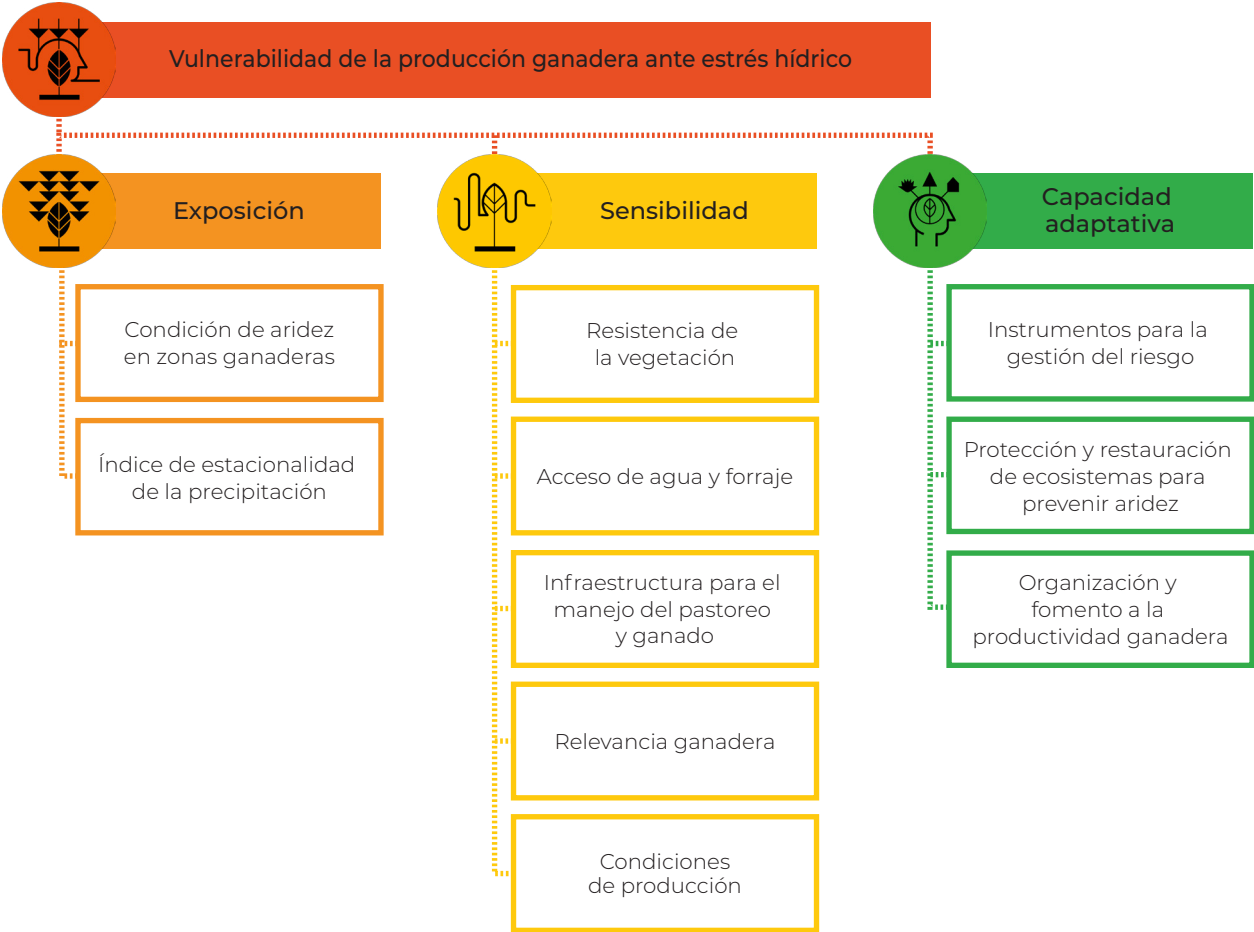
giones las condiciones climáticas imponen límites severos a los recursos con los que se alimenta y da de beber al ganado. Si bien la ganadería puede desarrollarse bajo condiciones secas, en estas zonas la ocurrencia de eventos como las sequías agravan los sistemas de producción, rompiendo los ciclos pecuarios con la subsecuente reducción de ingresos para los productores. Estos fenómenos con condiciones de estrés hídrico pueden prolongarse durante varios años, lo que provoca pobreza y desertificación (Cervantes Ramírez, s/f).

En México, el 49.2% del territorio está conformado por tierras secas, de éstas el 0.2% son zonas hiperáridas, el 28.3% zonas áridas, el 23.7% zonas semiáridas y el 17.6% son zonas subhúmedas secas, las cuales se encuentran distribuidas en el centro y norte del país. En estos lugares la población alcanza los 22 millones de habitantes (CONABIO, 2017). Los diez estados mexicanos con mayor grado de aridez son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (SAGARPA, 2016).

La ganadería bovina que se explota bajo condiciones de agostadero en regiones áridas y semiáridas de México, ha sido impactada por sequías. Algunas de las consecuencias han sido el incremento en la mortalidad del ganado, la venta del ganado, la disminución de los parámetros productivos de los sistemas de producción, la acentuación del sobrepastoreo y la disminución de la capacidad de carga animal en los agostaderos (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Las actividades de las regiones áridas están adaptadas a la permanencia de aridez, en contraste, la presencia de sequía origina interrupción de las actividades normales en todas ellas (Hernández *et al.*, 2007). Las pérdidas pueden ser mayores si las condiciones de sequía son más frecuentes o bien se prolongan por mucho tiempo. Además, por el mal manejo de las actividades agropecuarias se incrementa la degradación del suelo, la erosión, la vegetación, la erosión, ocasionada muchas veces por el mal manejo de las actividades agropecuarias.

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1. Condición de aridez en zonas ganaderas

La escasez de la precipitación y su irregularidad anual e interanual y rasgos climáticos permanentes, caracterizan a las zonas áridas, las cuales ocupan una tercera parte de la superficie terrestre (Hernández *et al.*, 2007). La aridez se evalúa con base en variables climáticas (índices de aridez), o bien respecto a cuántos días el balance de agua permite el crecimiento de las plantas (periodo de crecimiento). Las zonas extremadamente áridas o hiperáridas son aquellas en las que existe déficit de agua durante todo el año, mientras que cuando el déficit se presenta durante la mayor parte del año se clasifican en tierras áridas o semiáridas. Más allá de una clasificación de zonas áridas, es importante considerar la duración de la escasa y dispersa precipitación, la duración y el periodo de la estación lluviosa (UNESCO, 1982), lo cual influirá en actividades como la ganadería, ya que de esta manera se podrán tomar medidas para un mejor aprovechamiento de las condiciones climáticas. Sin embargo, eventos como las sequías, que son características de las tierras áridas y pueden definirse como periodos (1-2 años) en

los que las lluvias se encuentran por debajo del promedio, pueden tener consecuencias sobre la productividad de las tierras y la pérdida de la vegetación y por tanto de la producción ganadera (FAO, 2007). Las actividades de las regiones áridas están adaptadas a la permanencia de aridez, en contraste la presencia de sequía origina interrupción de las actividades normales en todas ellas (Hernández *et al.*, 2007).

Variable 1.1. Índice de Lang

Los límites de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas no son abruptos ni estáticos, debido a la alta variabilidad interanual en la precipitación y a la ocurrencia de sequías, las cuales pueden presentarse por periodos de varios años. El problema para la caracterización y delimitación de estas zonas, desde el punto de vista climático, es la evaluación e identificación de variables climáticas para establecer un índice de deficiencia o excedencia de agua que evalúe la relación entre el agua que entra y la que sale (Troyo *et al.*, s/f).

Richard Lang estableció en 1915 una clasificación basada en el volumen de la precipitación

anual (acumulada) y la temperatura promedio. Este índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región (Sánchez y Garduño, 2008).

El índice de Lang (IL) se basa en el factor de la razón entre la precipitación y la temperatura, de los cuales se proponen seis clasificaciones. El factor (L) se obtiene con la relación entre la precipitación media anual (P) en mm y la temperatura media anual (T) en °C, usando la siguiente fórmula:

$$L = P/T$$

donde:

- L : factor de Lang
- P : Precipitación media anual
- T : Temperatura media anual

Factor de Lang (P/T)	Clasificación	Símbolo
0-20	Desértico	D
20.1-40	Árido	A
40.1-60	Semiárido	SA
60.1-100	Subhúmedo	SH
100.1-160	Húmedo	H
>160	Muy húmedo	VH

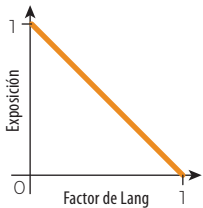
Fuente: Neira (2006).

La ventaja del índice de Lang es que define clases más bajas de aridez, tal es el caso de la clasificación de “desértico” seguida de la clasificación de “árido”, mientras que en otros índices la clasificación más extrema es la de “árido”

(como el de Martonne, Thornthwaite y Emberger). El índice de Lang detalla de mejor manera la clasificación de aridez y por tanto no subestima los valores (Neira, 2006).

Valor de función

A menor valor del factor de Lang, mayor exposición ante estrés hídrico.



Observaciones

Para el cálculo del índice de Lang, se consideraron la precipitación y temperatura para los datos observados con en el periodo 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Índice de estacionalidad de la precipitación

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, se puede dividir entre meses secos y meses húmedos. En México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez *et al.*, 2008). Para representar la estacionalidad se ha utilizado el índice de estacionalidad (SI , por sus siglas en inglés), definido por Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma

del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año. Es decir:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

donde:

\bar{x}_n es el promedio de la precipitación del mes n .

\bar{R} es el promedio anual de la precipitación

El rango de valores del índice varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1.83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes).

Régimen de lluvia	Límites de clases SI
Distribución de lluvia muy constante	≤ 0.19
Constante pero con una temporada húmeda definida	0.20-0.39
Algo estacional con una corta temporada más seca	0.40-0.59
Estacional	0.60-0.79
Marcadamente estacional con una temporada seca más larga	0.80-0.99
Mucha lluvia en 3 meses o menos	1.00-1.19
Extrema, casi toda la lluvia en 1-2 meses	≥ 1.20

Fuente: Walsh y Lawler (1981).

El SI se integra al criterio de condición de aridez porque determina la concentración de la precipitación en un periodo de tiempo dado,

es decir, proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad de la lluvia (Kanellopoulou, 2002; Walsh y Lawler, 1981). Con esta caracterización se pueden determinar temporadas secas.

En comparación con otros índices (Cornejo-Ayala, 2006), que pueden subestimar la caracterización, el SI define los contrastes de lluvia con más detalle debido a su mayor número de clasificaciones. Los valores altos indican que la precipitación se concentra en menos meses, y por tanto el estrés hídrico puede presentarse en una mayor cantidad de meses.

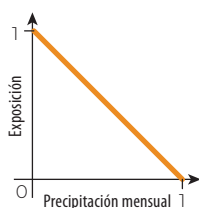
Variable 2.1. Precipitación mensual

Por medio del análisis de la precipitación mensual en su ciclo anual, permite conocer la distribución de la lluvia a lo largo del año. Es decir, cuáles meses son secos y cuáles húmedos, siendo los primeros los representativos de las condiciones en zonas áridas. En una gran parte del territorio nacional la temporada de lluvias se presenta en la mitad del año, durante los meses de mayo a octubre, excepto en un área del noroeste en donde predominan las lluvias en invierno. En la vertiente del océano Pacífico, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de Baja California, la vertiente del Golfo de México, la región noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes elevadas de las montañas del sur del país se presenta un máximo de precipitación durante septiembre, lo cual se relaciona con la temporada de ciclones tropicales. En las cuencas interiores del sur, así como sobre la Altiplanicie Mexicana, el máximo se presenta en los meses de junio

o julio. En el extremo noroeste del territorio se tiene un régimen de lluvias con máximo en diciembre o enero. Mientras que las zonas del norte, noreste y noroeste de la porción continental tiene régimen de lluvias uniformemente distribuidas (García, 2003).

Valor de función

A menor precipitación mensual, mayor exposición.



Observaciones

La precipitación mensual se utilizó como insumo para calcular el índice de estacionalidad de la lluvia, así como el promedio anual. Se aplica para los datos observados del periodo 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

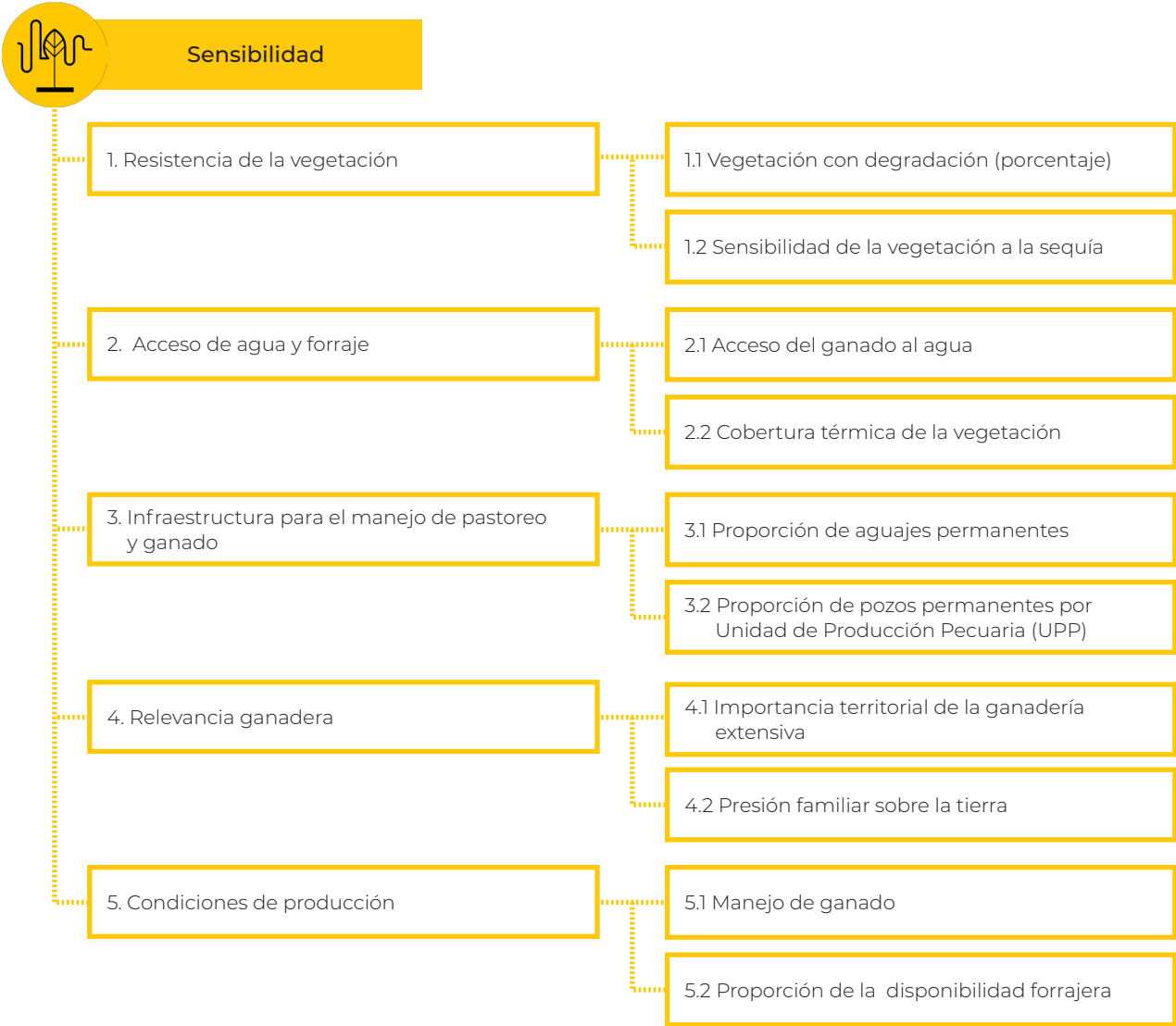
Variable 1.1

1. INECC (2017). “Precipitación, temperatura anual y escenarios de cambio climático”. WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].

Variable 2.1

1. INECC (2017). “Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático”. WorldClim data [Imagen Raster]. Escala no vista.

Sensibilidad



Criterio 1. Resistencia de la vegetación

El estrés hídrico puede propiciar condiciones adversas para muchas especies vegetales. Las plantas y organismos en general, que habitan en zonas con escasas precipitaciones, han desarrollado una serie de características anatómicas, estructurales, bioquímicas y fisiológicas que les permiten mantener un balance

adecuado de agua y energía térmica. Incluyen ajustes fenológicos a la disponibilidad de agua, características morfofisiológicas que reducen la pérdida de agua o aumentan su adquisición, mecanismos de regulación del estrés térmico, respuesta rápida a los pulsos de recursos, y exploración de fuentes de agua profundas (Villagra *et al.*, 2011; Granados-Sánchez *et al.*, 1998).

La eliminación o pérdida de la capa de vegetación incrementa el riesgo de erosión y degradación del suelo. Los usos predominantes del suelo en las tierras áridas y con presencia de estrés hídrico son el pastoreo y la producción de alimentos de subsistencia (FAO, 2007; Grana-dos-Sánchez *et al.*, 1998). Aunque la vegetación de estas zonas puede tener mucha resistencia a condiciones adversas, no están exentas al mal manejo de la actividad pecuaria, el cual ocasiona la pérdida de especies forrajeras nativas, disminuye la capa vegetal que cubre y protege el suelo y provoca cambios en la estructura del ecosistema, así como en su diversidad florística (Molina-Guerra *et al.*, 2013).

Variable 1.1. Vegetación con degradación (porcentaje)

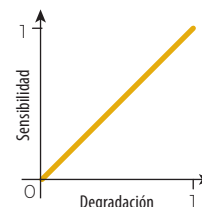
El proceso de degradación se refiere a la alteración de la cubierta vegetal original sin desaparecer en su totalidad, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales originales. Estos cambios en la superficie pueden alterar la estructura de los ecosistemas y con ello los bienes y servicios que la vegetación ofrece (Cuevas *et al.*, 2010). Los sistemas de pastoreo inadecuados y el estrés hídrico propician la pérdida de vigor de las plantas forrajeras más apetecibles para el ganado y en casos extremos su desaparición de los potreros, lo cual favorece el incremento de especies nativas menos apetecibles para los animales y/o, en su caso, el establecimiento de especies invasoras (SAGARPA, 2018a), este efecto acentúa el uso irracional e intenso. Debido a lo anterior, grandes extensiones de tierras se encuentran sobrepastoreadas (Rzedowski, 2006). Como

consecuencia del sobrepastoreo se presenta la reducción en la productividad pecuaria y forrajera (Ángel Sánchez *et al.*, 2017).

En el año 2002 la superficie afectada por sobrepastoreo alcanzó un poco más de 47.6 millones de hectáreas (24% de la superficie nacional) y alrededor del 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país (SEMARNAT, 2016).

Valor de función

A medida que aumenta el porcentaje de la superficie con degradación, aumenta la susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) calcularon esta variable de la siguiente manera:

1. El estado de conservación de la vegetación se determinó mediante monitoreo satelital, usando los índices espectrales de la vegetación del 2000 al 2008, con los que se obtuvo la línea base municipal por grupo de vegetación (por medio de una regresión lineal). Se consideró que la vegetación estaba en proceso de deterioro cuando el signo del coeficiente de regresión era negativo y cuando el signo del coeficiente era positivo la vegetación estaba en proceso de recuperación.

2. El porcentaje de la vegetación con degradación se determinó con la siguiente ecuación:

$$Vdegra = \frac{\sum sgvd_1 \dots sgvd_n}{stv} \times 100$$

donde:

$Vdegra$ = vegetación con degradación (%)

$sgvd_1$ = superficie del grupo de vegetación 1 con degradación

$sgvd_n$ = superficie del grupo de vegetación n con degradación

stv = superficie total de la vegetación

Unidad de agregación

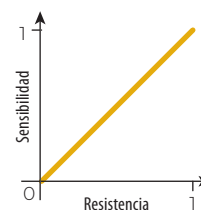
Municipio.

Variable 1.2. Sensibilidad de la vegetación a la sequía

Los tipos de vegetación difieren en su capacidad para resistir al estrés hídrico en condiciones de aridez y sequía. Dependen de la cantidad, distribución y frecuencia de la precipitación, además de las características anatómicas y fisiológicas de las especies vegetales dominantes. Esta variable considera todos los tipos de vegetación, praderas cultivadas y pastizales inducidos (fase serial de la vegetación) presentes en el municipio y la superficie que estos ocupan (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta la superficie con tipos de vegetación poco resistentes ante estrés hídrico, aumenta la sensibilidad de la producción ganadera.



Observaciones

De acuerdo con SAGARPA (2018a), la escala de sensibilidad municipal de la vegetación se obtuvo por interpolación lineal a partir de la escala de resistencia a la sequía, tomando como referencia los valores mínimos y máximos a nivel nacional. Al valor más bajo de resistencia a la sequía le corresponde el nivel de sensibilidad de 5 y al más alto el nivel de sensibilidad de 1. La escala de resistencia a la sequía la determinaron con la ecuación:

$$ERS = (Supp \times k1 \times Supm \times k2 \times Supb \times k3 \times Sups \times k4 \times Suppc \times k5 \times Supo \times k6) / (Sup t)$$

donde:

ERS = Escala de resistencia de la vegetación a la sequía;

$Supp$ = Superficie de pastizales;

$Supm$ = Superficie de matorrales;

$Supb$ = Superficie de bosques;

$Sups$ = Superficie de selvas;

$Supo$ = Superficie de otros tipos de vegetación;

$Suppc$ = Superficie de praderas cultivadas;

$k1$ = Escala de resistencia de los pastizales a la sequía de pastizales;

$k2$ = Escala de resistencia de los matorrales a la sequía;

$k3$ = Escala de resistencia de los bosques a la sequía;

k4= Escala de resistencia de las selvas a la sequía;

k5= Escala de resistencia de otros tipos de vegetación a la sequía;

k6= Escala de resistencia de las praderas cultivadas a la sequía

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Acceso de agua y forraje

En las tierras secas la disponibilidad de agua suele ser crítica. Estas áreas se caracterizan por una elevada tasa de evaporación y las aguas superficiales como los ríos y los lagos tienden a desaparecer relativamente rápido. La escasez de agua y una mala calidad de la misma puede afectar actividades como la ganadería (Hori *et al.*, 2011). La disponibilidad de alimento y agua influyen en la producción pecuaria, se agrava aún más en aquellas zonas con estrés hídrico, donde las altas temperaturas y las bajas precipitaciones proporcionan condiciones poco favorables para el ganado (ECOBONA-DEPROSUR, 2017). La alimentación del ganado en los agostaderos de México consiste en una dieta mixta, incluye pastos, hierbas, arbustos, brotes y frutos de árboles (SAGARPA, 2018a), por lo que la producción es el resultado de la calidad y disponibilidad de los mismos. Si la calidad de los pastos es buena o mala, la producción será eficiente o deficiente, respectivamente (ECOBONA-DEPROSUR, 2017). Por otra parte, el agua constituye el mayor componente del peso entre los animales y los vegetales, y la falta de ésta puede ocasionar la baja producción

o incluso la pérdida del ganado. Los animales obtienen el agua de tres fuentes: la contenida en el alimento, la que se produce durante el proceso de asimilación de los mismos y el agua bebible (Pineda, 2016). La mayor parte de las fuentes de agua o aguajes que consume el ganado proviene de aguas superficiales como arroyos, lagos, ríos, charcos, lagunas, manantiales, pozos y bebederos artificiales de diferentes tipos, sin embargo el agua que se extrae del subsuelo es de vital importancia en caso de sequía extrema, cuando por lo general el agua superficial es limitada (SAGARPA, 2018a). Los alimentos que consume el ganado, como los silajes y las pasturas, tienen un alto porcentaje de humedad, mientras que en los granos y heno es bajo. En general todos los forrajes secos y concentrados demandan en el animal un consumo de agua mayor que los forrajes verdes.

En el pastoreo extensivo, el ganado debe hacer más esfuerzo en la búsqueda del agua y alimento, lo que representa un mayor consumo en comparación con los animales que se manejan en confinamiento (Pineda, 2016). La distancia de desplazamiento, la topografía del terreno y el grado de obstrucción, son factores que determinan la cantidad de consumo del forraje y el acceso a las fuentes de agua (SAGARPA, 2018a). Los abrevaderos son el punto central de las actividades del ganado; por lo tanto, si en el potrero hay lugares de pastoreo o sombra demasiado alejados del punto de abrevadero, con seguridad los animales no aprovecharán del todo estos recursos (Duarte, s/f).

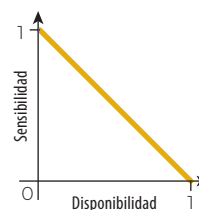
Variable 2.1. Acceso del ganado al agua

Existen diversos factores que influyen en la cantidad de agua requerida por los animales, tales como: raza, edad, estado fisiológico, temperatura y humedad ambiente, velocidad del viento, contenido de proteínas e hidratos de carbono de la dieta, ingestión de sales, entre otros. Los factores que modifican el consumo de agua son la temperatura ambiente y el tipo de alimento (Albéitar, 2003). Se tiene que disponer de un suministro abundante y continuo de agua, sobre todo ante estrés hídrico, como en eventos de sequías, con buenos depósitos en el cauce y con acceso de piso firme. Aun cuando la disponibilidad de agua sea continua, es importante contar con bebederos con adecuada accesibilidad, capacidad, y tiempo de recuperación del agua, ya que los animales tienden a beber en grupo. Si el tiempo de recuperación del volumen o nivel de agua de los bebederos no es suficiente, ya sea por baja presión del agua o por diámetro inadecuado del tubo de alimentación, estos estarán rebasados en su capacidad, y por tato se verá reducido el consumo de agua de los animales (Duarte, s/f).

Otro factor a considerar es la distancia de los aguajes. Si el consumo de agua se limita, los animales comen menos y más lentamente, mermando las condiciones físicas del ganado y por tanto de la producción (Albéitar, 2003).

Valor de función

A medida que disminuye la disponibilidad de agua para el ganado, aumenta la sensibilidad.



Observaciones

El acceso del ganado al agua se obtuvo a partir de las variables de sensibilidad por disponibilidad de agua y distancia máxima a los cercos de agua, datos proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

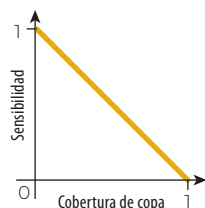
Variable 2.2. Cobertura térmica de la vegetación

Las temperaturas extremas altas o bajas afectan el confort de los animales, provocando una disminución en la producción. La radiación emitida en temporadas de altas temperaturas incrementa la temperatura corporal de los animales, por lo que es necesario que consuman agua fresca. Al mantener árboles cercanos a las fuentes de agua se reduce la velocidad del viento y además dan sombra, lo cual disminuye la pérdida por evaporación de un 15% a 20% y el agua se mantiene fresca (Radrizzani y Renolfi, 2004). En época de estiaje y sequías, la cual es un periodo crítico para la producción ganadera, la cobertura térmica cobra relevancia, debido a que la copa de los árboles y arbustos con follaje perennifolio proveen sombra que proyectan al ganado, reduciendo así el estrés térmico que ocasionan las altas temperaturas (SAGARPA, 2018a).

La necesidad de sombra varía por zona ecológica, de acuerdo con la temperatura, tipos de vegetación, concentración de ganado y los requerimientos de la fauna silvestre (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta el porcentaje de cobertura de copa en los municipios, disminuye la susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

De acuerdo con SAGARPA (2018a), el porcentaje de cobertura de copa de árboles y arbustos en estiaje se determinó a nivel municipal de la siguiente manera:

1. Se calculó el porcentaje de cobertura de copa por grupo de vegetación (pastizales, matorrales, bosques, selvas, praderas cultivadas y otros tipos de vegetación);
2. Los porcentajes resultantes se multiplicaron por el porcentaje relativo de árboles y arbustos con follaje perennifolio para obtener los porcentajes de cobertura de copa por grupo de vegetación;
3. Esos porcentajes se multiplicaron por la superficie total del grupo de vegetación que le corresponde, para calcular la superficie total con cobertura de copa de árboles y arbustos en el estiaje;

4. Se dividió dicha superficie entre la superficie total con vegetación natural e inducida y se multiplicó por 100 para tener el porcentaje de cobertura de copa en el estiaje.

La sensibilidad se calculó con el porcentaje de cobertura de copa de árboles y arbustos y la zona ecológica donde se encuentra el municipio (SAGARPA, 2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Infraestructura para el manejo de pastoreo y ganado

Las condiciones de temperaturas elevadas aumentan el requerimiento de agua de los animales. Ante un consumo insuficiente de agua en el ganado, se presenta una baja de peso debido a la pérdida de agua desde los tejidos y el intestino, el cual actúa como un reservorio de agua que permite mantener el organismo hidratado. Una provisión inadecuada de agua puede resultar en una rápida disminución de la producción pecuaria (Albéitar, 2003).

Por tanto, se requiere que los productores inviertan en la infraestructura que permita contar con agua para el ganado durante todo el año, sobre todo cuando se presentan eventos como la sequía y hay estrés hídrico.

Los potreros forman parte de la infraestructura básica para el control del pastoreo y manejo del ganado y son necesarios para llevar a

cabo diversas actividades dentro de una misma unidad de producción, como la agricultura, silvicultura, entre otras. Los potreros son necesarios para implementar un buen sistema de pastoreo, el cual permite a las plantas recuperarse y así reproducirse, además de mejorar el suelo y de proveer forraje de buena calidad para el ganado (SAGARPA, 2018a). En el caso de los animales en pastoreo, la frecuencia de consumo de agua es de varias veces al día, alternando con momentos de consumo de forraje. Sin embargo, la frecuencia está condicionada a la distancia que se encuentran las fuentes de agua en relación al terreno. Si la fuente de agua se encuentra cercana al área de pastoreo de los animales, estos pueden consumirla varias veces por día; por el contrario, cuanto más alejada se encuentra la frecuencia de tomas se reduce debido al esfuerzo que implica llegar hasta el reservorio. Las caminatas también modifican el consumo de forraje, las distancias de más de 250 m entre el área de pastoreo y el abrevadero pueden afectar la eficiencia y uniformidad del consumo (Pineda, 2016). Esto puede agravarse cuando las fuentes naturales o provistas por lluvia se desecan debido a periodos de sequía, sin embargo, esto se puede contrarrestar con la perforación de pozos para la ganadería, los cuales proveen de agua subterránea durante todo el año y en épocas de estiaje y sequías.

Variable 3.1. Proporción de aguajes permanentes

Los aguajes pueden ser naturales o contru-

cción animal. Son indispensables ya que el agua se requiere para la cría de cualquier clase de ganado y para obtener una buena distribución del pastoreo. Para tener una producción continua de ganado en condiciones de pastoreo es necesario tener disponibilidad de forraje y agua permanente durante todo el año en los potreros. De otra forma la actividad ganadera estará condicionada a la disponibilidad de agua, o en su caso, el agua debe ser transportada a los potreros, lo cual incrementa las emisiones y los costos de producción por transporte. Asimismo, si las fuentes de agua se localizan en áreas lejanas de los potreros, el ganado recorrerá grandes distancias, lo que implicará un desgaste excesivo de energía y pérdida de peso corporal del ganado, por lo que se requiere de una adecuada proporción de aguajes permanentes por potrero (SAGARPA, 2018a).

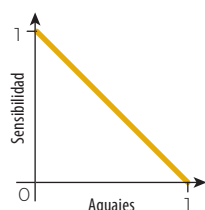
Con el número adecuado de potreros en las Unidades de Producción Pecuarias (UPP's), se puede implementar un sistema de pastoreo rotacional, el cual está en función de las zonas ecológicas, tiempo de ocupación o pastoreo del ganado en los potreros, tiempo de recuperación de las plantas y del suelo, número de hatos que se manejan y de las otras actividades productivas que se realizan en las UPP's (SAGARPA, 2018a).

La producción ganadera será menos susceptible a condiciones de estrés hídrico, si las UPP's cuentan con el número apropiado de potreros y un manejo sustentable y flexible que permita conservar, mejorar y/o recuperar las tierras ganaderas, a fin de disminuir la sensibilidad de los ecosistemas y de la producción animal.

Lo anterior también permite una mejor flexibilidad en condiciones cambiantes de mercado ya que facilita la diversificación productiva (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A mayor proporción de aguajes permanentes por potrero, menor susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) obtuvo el número promedio de aguajes permanentes por municipio utilizando el reporte depurado de la base de datos del PROGAN 2003-2007.

Unidad de agregación

Municipio.

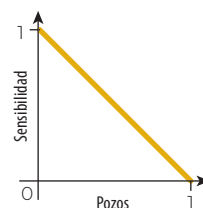
Variable 3.2. Proporción de pozos permanentes por Unidad de Producción Pecuaria (UPP)

La variación estacional de las lluvias, la duración y severidad de la estación seca, la intensidad de la evaporación y la gran variabilidad de la precipitación de un año a otro determinan que los recursos hídricos sean inciertos e intermitentes (Duarte, s/f). Por lo cual es necesario contar con fuentes de agua disponibles durante todo el año, sobre todo en aquellas regiones donde la precipitación es escasa, como en las zonas áridas y semiáridas. Los pozos artesianos y profun-

dos con agua permanente son la infraestructura ganadera fundamental con que debería contar una UPP para reducir la susceptibilidad ante el estrés hídrico y/o sequía (SAGARPA, 2018a). La construcción de pozos aumenta el número de aguajes permanentes, mejorando el suministro de agua, parte fundamental para la nutrición y producción del ganado (Duarte, s/f).

Valor de función

A mayor proporción de pozos permanentes por UPP, menor susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) obtuvieron el número promedio de pozos con agua permanente por municipio utilizando el reporte depurado de la base de datos del PROGAN 2003-2007.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 4. Relevancia ganadera

La producción pecuaria se extiende en gran parte del territorio nacional, siendo una opción para aquellos lugares en los cuales no se cuenta con alguna otra alternativa productiva. En general la ganadería genera más de un millón de empleos permanentes remunerados; la actividad pecuaria aporta el 45% del valor de la

producción agropecuaria (SAGARPA, 2012). En México hay diferentes sistemas de producción asociados a diversos aspectos como: rangos tecnológicos, adaptación a áreas geográficas en donde se desarrollan, la afinidad productiva, las tendencias ancestrales de producción, la gama de climas, vegetación y disponibilidad de recursos alimenticios nacionales e importados. Para la producción de carne la región del trópico húmedo y seco es la que tiene un mayor aporte (35.4%), especialmente la zona sureste del país. Le siguen las zonas áridas y semiáridas (33%), mientras que las zonas templadas aportan el 31.6% (GEO México, 2004).

En las zonas áridas con alto estrés hídrico, el sistema común es el de vaca-becerro, con la venta de las crías, con fines de exportación. En estas zonas por lo general los agostaderos se encuentran deteriorados y están constituidos principalmente por pastizales nativos. Para complementar la alimentación se han introducido especies forrajeras mejoradas, en explotaciones más tecnificadas. Si bien la producción se ha mejorado con la introducción de tecnologías, la disponibilidad de los recursos se limita al uso poco racional de pastizales nativos y la dependencia temporal de forrajes. En estados como Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, el sur de Tamaulipas, y la región de la Huasteca Potosina, donde la estación de lluvias es corta, el pastoreo se realiza en agostaderos constituidos por gramas nativas y en praderas inducidas. El sistema vaca-becerro con ordeña estacional en la época de lluvias, en áreas cercanas a las poblaciones humanas, constituye un sistema de doble pro-

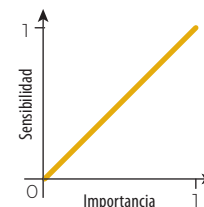
pósito que busca una mayor liquidez para las explotaciones. Debido a que en estos estados la estación de lluvias es corta, la escasez de forraje durante una sequía repercute negativamente (Suárez-Domínguez y López-Tirado, s/f).

Variable 4.1. Importancia territorial de la ganadería extensiva

La superficie a considerar es aquella donde únicamente se desarrolla la actividad ganadera, en el país existen más de 3.4 millones de UPP's, las cuales ocupan más del 50% del territorio nacional (SAGARPA, 2012). En la medida que aumenta la superficie ganadera, el número de UPP's y el inventario de ganado que se cría en condiciones de pastoreo, los sistemas de producción ganaderos son más sensibles ante el estrés hídrico y la sequía (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A mayor importancia territorial de la ganadería, mayor susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018a) estimaron la importancia territorial de la ganadería extensiva a partir de información del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 del INEGI.

Unidad de agregación

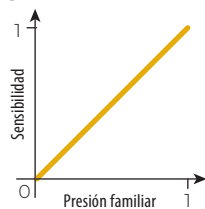
Municipio.

Variable 4.2. Presión familiar sobre la tierra

El grado de utilización de los recursos naturales en los predios ganaderos depende en gran medida de la cantidad de ganado que se introduzca en los potreros. Es común que a medida que aumentan las necesidades de ingresos familiares, por una mayor cantidad de dependientes económicos, se propicia que los dueños de la tierra busquen obtener mayores ingresos, introduciendo una mayor cantidad de ganado de la que pueden sostener sus tierras, lo mismo sucede con otros recursos naturales que existen en los predios (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta la presión familiar sobre la tierra, aumenta la susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

SAGARPA (2018) obtuvieron la escala de sensibilidad a partir de la presión de los integrantes de la familia sobre la tierra, dividiendo la superficie promedio de la Unidad de Producción Pecuaria (UPP) entre el número promedio de los integrantes de familia (el propietario o posesionario de la tierra más sus dependientes económicos).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 5. Condiciones de producción

Debido a la alta demanda de alimentos como la carne, es necesario incrementar la producción pecuaria para que el sector pueda satisfacer la creciente demanda de productos ganaderos de calidad y al mismo tiempo reducir al mínimo sus repercusiones en el medio ambiente y en los recursos naturales. Esto es posible si se hace un uso eficiente de los insumos de producción, como intervenciones en materia de sanidad animal, junto con tecnologías relacionadas con una zootecnia y un manejo de alimento adecuados. Sin embargo, en los sistemas productivos en pequeña o mediana escala, resulta difícil por la falta de formación, conocimientos y tecnologías apropiadas, agravada por un insuficiente acceso a los mercados, bienes y servicios y por la debilidad de las instituciones (FAO, 2018; FAO, 2014a).

El bienestar y la productividad ganadera están en situación de riesgo debido a factores ambientales que influyen en su comportamiento (Rötter y van de Geijin, 1999; Zhao *et al.*, 2005). El estrés hídrico, por ejemplo, puede repercutir en la producción del ganado por la falta de agua y alimento, incluso las altas temperaturas pueden conducir a la pérdida de ganado.

Variable 5.1. Manejo de ganado

Una productividad eficiente se puede asegurar a través de las buenas prácticas en el manejo pecuario que se utilizan en los sistemas de producción ganadera, ya sea en grandes comercializadoras o bien entre pequeños productores (Hernández Domínguez, 2011). Para

mejorar la eficiencia en la producción de ganado en condiciones extensivas de producción, es necesario mejorar la eficiencia reproductiva del ganado, que puede medirse en términos de porcentaje de destetes, lo cual es indispensable para mejora de la productividad, rentabilidad y competitividad del subsector ganadero. A nivel nacional más del 50% de los vientres no desteta un becerro al año.

Las crías y el ganado adulto son susceptibles a diversas enfermedades, sin embargo, la salud de los animales es fundamental para el éxito de la producción. Un buen manejo zoonosanitario evita la muerte de animales por enfermedad, garantiza un producto sano y previene la transmisión de enfermedades de los animales a los humanos (SAGARPA, 2014).

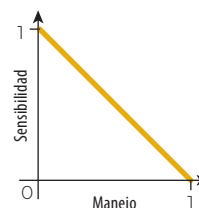
Además de un buen manejo reproductivo y zoonosanitario, otro factor importante para la cría y producción del ganado, es la alimentación, ya que es necesaria para el buen desarrollo físico del ganado.

Para poder mejorar la eficiencia productiva del ganado es necesario contar con un manejo adecuado de la alimentación, la reproducción y las medidas zoonosanitarias (SAGARPA, 2018a).

Si se presenta estrés hídrico, un buen manejo del ganado disminuirá la susceptibilidad de la producción, ya que el ganado estará en óptimas condiciones para enfrentar un evento de este tipo, respecto al control de enfermedades y disponibilidad de alimento.

Valor de función

Ante un mejor manejo de ganado, menor susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

El manejo de ganado se evaluó considerando datos proporcionados por SAGARPA (2018) para el manejo de alimento, zoonosanitario y reproductivo, quienes utilizaron los resultados de las encuestas de satisfacción realizadas a nivel nacional por la Federación de Médicos Veterinarios Zootecnistas (FedMVZ) en 144,199 Unidades de Producción Pecuaria con ganado bovinos carne y doble propósito.

Unidad de agregación

Municipio.

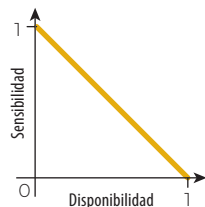
Variable 5.2. Proporción de la disponibilidad forrajera

El manejo apropiado de la ganadería, sobre todo la de pastoreo, radica en el uso apropiado de los recursos forrajeros. Sin embargo, en ocasiones la oferta de alimento en un área determinada puede ser inferior a la demanda alimenticia de los animales, lo que indica que hay un número de animales muy elevado para esa área, es decir una sobreexplotación (FEDEGAN, 2013). Los cultivos forrajeros y los esquilmos agrícolas son importantes en la alimentación

del ganado, como complemento del forraje que el ganado no consigue con el pastoreo directo. Estas fuentes de forraje se producen en las zonas agrícolas, que por lo general son más sensibles a las condiciones climáticas adversas comparadas con las tierras de uso ganadero (SAGARPA, 2018a). Por otro lado, también puede existir una subutilización que se traduce en menores aprovechamientos indicados como un desperdicio de capacidad. Incluso el exceso de alimento representa problemas de manejo al permitir la invasión de malezas (FEDEGAN, 2013).

Valor de función

A menor proporción de disponibilidad forrajera, mayor susceptibilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

Para esta variable se utilizaron los datos de balance entre la oferta y la demanda y la contribución de las zonas agrícolas a la alimentación, proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - COLPOS-SAGARPA (2012). Reportes del Sistema Nacional de Monitoreo Satelital Orientado a la Ganadería o SIMSOG. [tabla excel].

Variable 1.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].
 - La escala de resistencia de la vegetación a nivel municipal se determinó por el personal técnico de la COTECOCA.

Variable 2.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SAGARPA (2003-2007). *PROGRAN productivo*. [tabla excel]. El porcentaje relativo se determinó dividiendo la duración promedio de agua mensual entre 12.
 - FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. Realizada en Unidades de Producción Pecuaria con ganado bovino carne y doble propósito.
 - SAGARPA (2003-2007). *PROGRAN productivo*. [tabla excel]. Se determinó

el número promedio de potreros y aguajes permanentes.

- SAGARPA (2013-2017). *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo*. [shapefile]. Se determinó la superficie promedio de las UPP's a nivel municipal.

Variable 2.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- COLPOS-SAGARPA (2012). *Red Extendida del Sistema Nacional de Monitoreo Terrestre Orientado a la Ganadería*. [tabla excel].
- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].
- SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel]

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
2. SAGARPA (2003-2007). *PROGAN productivo*. [tabla excel].

Variable 3.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).

2. SAGARPA (2003-2007). *PROGAN productivo*. [tabla excel].

Variable 4.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
2. INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].

Variable 4.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. Se obtuvieron la superficie de la Unidad de Producción Pecuaria y el número de dependientes económicos del propietario o posesionario en Unidades de Producción Pecuaria con ganado bovino carne y doble propósito.

Variable 5.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
- SAGARPA (2013-2017). *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo*. [shapefile]. El manejo zoonosanitario se evaluó usando los resultados de las encuestas de satisfacción de 144,199 Unidades de Producción Pecuaria, correspondien-

tes a bovino carne y doble propósito. Se consideraron los siguientes tipos de manejo: vacunaciones, desparasitación interna y externa del ganado y calendarización zoosanitaria.

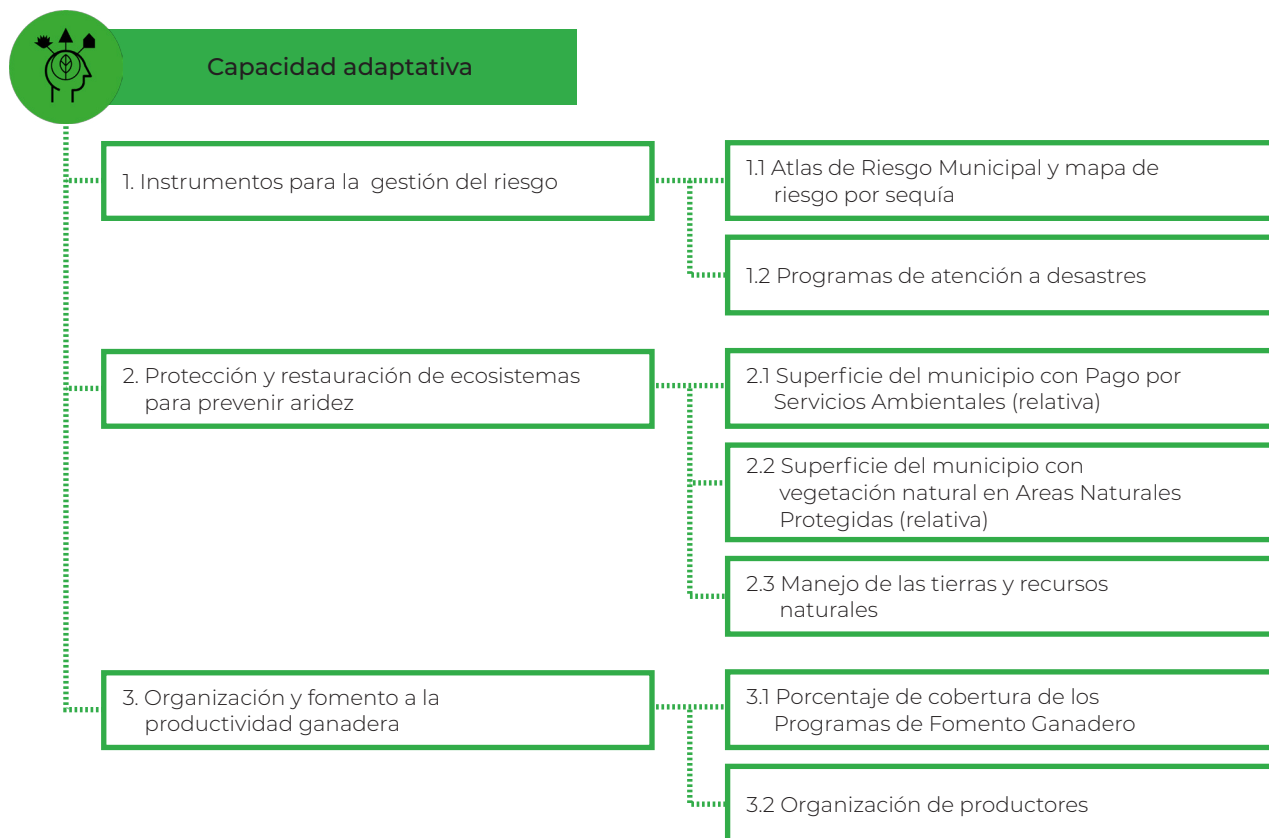
- FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. Se determinó el manejo de la alimentación animal correspondientes a ganado bovino carne y doble propósito. Se consideraron los siguientes criterios: suministro y frecuencia de utilización de sales minerales, concentrados, granos, ensilados o henificados y esquilmos agrícolas; así como, las acciones de manejo del pastoreo.
- FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. Se evaluaron las acciones y manejo reproductivas usando los resultados de las encuestas de satisfacción en 144,199 Unida-

des de Producción Pecuaria, correspondientes a ganado bovino carne y doble propósito. Para calcular el porcentaje de destetes se consideraron las variables de número de vientres totales existentes en 2014 y número de crías nacidas destetadas en 2014.

Variable 5.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SAGARPA (2018). *Capacidad Forrajera por zona ecológico-ganadera*. [tabla excel].
 - INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].
 - SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel]
 - INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Instrumentos para la gestión del riesgo

Por lo general las actividades agropecuarias presentan mayor vulnerabilidad ante la presencia de contingencias climatológicas, particularmente aquellas relacionadas con la falta o el exceso de precipitación pluvial, y, en menor escala, aunque cada vez con mayor frecuencia, las temperaturas extremas (FAO, 2014b).

El criterio de instrumentos para la gestión del riesgo toma en cuenta la formulación de planes y programas dirigidos a implementar medidas de prevención ante inundaciones y

sequías. La gestión del riesgo involucra conocer los peligros a los que se está expuesto ante la variabilidad climática y el cambio climático, además integra los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados (Ulloa, 2011). Por lo tanto, la existencia de instrumentos de gestión del riesgo a nivel municipal es un elemento muy importante para promover los esfuerzos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad (UNISDR, 2009).

Variable 1.1. Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por sequía

Esta herramienta apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a sequías en el municipio y, por tanto, a la presencia de estrés hídrico. Además, permite el análisis territorial, lo cual facilita el desarrollo de medidas de prevención para la seguridad de la población e infraestructura, incluso para zonas de producción agropecuaria.

Valor de función

0 - Indica que no se tiene atlas de riesgo municipal.

1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no con mapa de sequía.

2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y mapa de sequía.

Aumenta la capacidad adaptativa de la producción ganadera ante estrés hídrico, si se cumple 1 y 2.

Observaciones

Información generada con base en la revisión de los Atlas de Riesgo de cada municipio. Los fenómenos meteorológicos que se integran en el atlas de riesgo municipal son:

■ Sequía

- Heladas
- Tormentas eléctricas
- Tormentas de granizo y nieve
- Inundaciones
- Ondas gélidas y cálidas
- Ciclones tropicales
- Tornados

- Viento
- Erosión y acreción costera

La información de las condiciones 0, 1 y 2 se normalizó para tener la contribución de cada una de ellas entre los valores de 0 y 1.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Programas de atención a desastres

La ayuda del programa de atención a desastres es un componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del Componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos: terremoto, erupción volcánica, maremoto y movimiento de ladera. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoque afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018b).

Valor de función

0 - Indica que el productor no ha tenido apoyo del programa.

1 - Indica que el productor sí ha tenido apoyo del programa.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir aridez

En México existen serios problemas de degradación del suelo en las tierras de pastoreo, cuya consecuencia es la reducción de los productos y servicios que se obtienen de ellas, como forrajes, agua y áreas de recreación, asociado a una disminución en los inventarios ganaderos (INECC, 2016). La reducción en la cubierta vegetal y de la materia orgánica, así como la compactación y modificación de la estructura del suelo, dan lugar a una disminución en la capacidad de infiltración, por lo que el escurrimiento superficial aumenta dejando una menor humedad disponible para las plantas y favoreciendo los procesos erosivos, sobre todo en zonas secas. El impacto del pastoreo sobre un terreno varía dependiendo de la intensidad y duración de éste, así como de las características de la cuenca. Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los Programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (OEA, 2008).

La protección del suelo ante la erosión, el control de los escurrimientos y por tanto de los azolves, el mantenimiento de la tasa de infiltración y del balance hidrológico, la conservación de la biodiversidad genética, la protección al hábitat de la fauna silvestre y la producción ganadera, se verían favorecidos por la restauración de la vegetación de los agostaderos y su

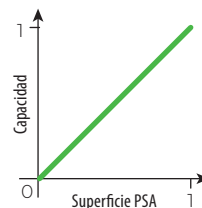
manejo adecuado (INE, 1994).

Variable 2.1. Superficie del municipio con Pago por Servicios Ambientales (relativa)

Se consideran las áreas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Las cuales representan la presencia de criterios en las masas forestales que promueven la conservación en el contexto de instrumentos económicos diseñados para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficia a la sociedad (CONANP, 2010).

Valor de función

A mayor superficie elegible para el esquema de pagos por servicios ambientales, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

A través de estudios e investigaciones realizados por la CONAFOR, se definen las áreas elegibles en ecosistemas forestales de México. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con PSA, lo cual permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

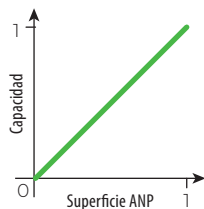
Municipio.

Variable 2.2. Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativa)

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos (OEA, 2008). El beneficio directo, relacionado con la problemática abordada, de los servicios proveídos por las áreas conservadas, es incrementar la capacidad del suelo para retener la lluvia y promover los procesos de infiltración y de escurrimiento sub-superficial. Áreas con suelos conservados producen más forraje y de mayor calidad, además de reducir la severidad, el impacto y los riesgos financieros en época de estiaje y sequías (González y Ávila, 2010).

Valor de función

A mayor superficie del municipio con vegetación natural en área natural protegida, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

Se distingue en Áreas Naturales Protegidas (ANP) nacionales, estatales y municipales. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con ANP, lo cual permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

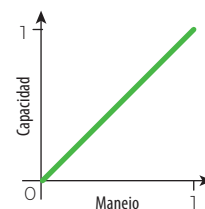
Municipio.

Variable 2.3. Manejo de las tierras y recursos naturales

El manejo y la conservación de los recursos naturales en los predios ganaderos son de suma importancia en la producción animal. La calidad de la dieta del ganado, el confort animal y la conservación de los recursos base de la ganadería extensiva para la producción animal (suelo, agua y vegetación), están en función del manejo del pastoreo, del ganado y las medidas de conservación de la vegetación y la fauna. En este sentido la asistencia técnica es esencial para incrementar la producción animal de una manera sustentable, y no sobrepastorear los agostaderos. Es importante considerar si se cuenta con este servicio, su frecuencia y su calidad (SAGARPA, 2018a). De esta manera los productores pueden enfrentar de una mejor forma las contingencias en temporadas de lluvias escasas, reflejándose en pocas pérdidas de ganado y forraje e incluso en la reposición de los mismos después de eventos como sequías.

Valor de función

Ante un mejor manejo de las tierras y recursos naturales, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

Para el cálculo de esta variable se utilizaron los datos de asistencia técnica y de manejo y conservación de los recursos naturales proporcionados por SAGARPA (2018a), quienes utilizaron los resultados de las encuestas de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo, correspondientes a ganado Bovino Carne y Doble Propósito, realizadas por la FedMVZ.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Organización y fomento a la productividad ganadera

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tecnológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sanitarias, integración vertical y horizontal (rastros, empacadoras, fábricas de alimentos y medicamentos, etc.) (FAO, s/f). Ante desastres causados por estrés hídrico, los productores pueden perder o gastar en su totalidad el forraje disponible para el ganado, por lo que es importante disponer de recursos para comprar alimento suplementario o forraje para mantener la producción de ganado. Ante este escenario, ser integrante de una organización puede ayudar a gestionar apoyos económicos derivados de programas gubernamentales con los cuales se pueda afrontar el problema de alimento.

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Son actores clave tanto en la organización económica como para brindar diversos servicios a sus agremiados (representación, gestión, asistencia técnica, compra de insumos entre otras), la promoción del fomento ganadero y para atender diversos tipos de problemática, entre los que se debe contemplar el cambio climático, que inciden en la producción y en la competitividad del sector (SAGARPA, 2018a).

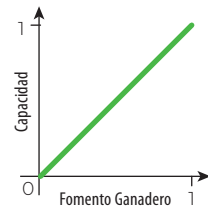
Variable 3.1. Porcentaje de cobertura de los Programas de Fomento Ganadero

El Programa de Fomento Ganadero es el programa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación que tiene como objetivo contribuir al aumento de la productividad de las unidades económicas pecuarias mediante la inversión en este sector. Entrega apoyos monetarios a los productores pecuarios para incrementar la producción de alimentos de origen animal en las unidades económicas pecuarias. Los nombres de los componentes y su disponibilidad han variado de 2013 a 2017 (SAGARPA, 2018a), pero actualmente los incentivos económicos para las UPP's se pueden agrupar en cinco componentes: 1) Componente de Capitalización Productiva Pecuaria, que se centra en la adquisición de activos productivos, infraestructura, maquinaria y equipo, perforación de pozos, repoblamiento y rescate de hembras, que contribuya al incremento de su productividad. 2) Componente de Sustentabilidad Pecuaria para adquisición de bienes de apoyo que minimicen los efectos de los dese-

chos, la mejora del control biológico de las explotaciones, así como para restablecer ecológicamente los recursos naturales de la ganadería rehabilitando agostaderos y mejorando las tierras de pastoreo. 3) Componente PROGAN Productivo, los apoyos están destinados para incentivar la productividad de las especies pecuarias. 4) Componente de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico Pecuarios, en el cual se incentiva la adquisición de activos que permitan un cambio tecnológico sustantivo en la actividad ganadera. 5) Componente de Estrategias Integrales para la Cadena Productiva, que tiene como objetivo incrementar la productividad a través de incentivos a la postproducción pecuaria, cría pecuaria, reproducción y material genético pecuario, manejo de ganado, ganado alimentario y sistemas de producto pecuarios (SAN, 2018). Contar con apoyos favorece la producción forrajera e incluso puede aumentar la capacidad adaptativa ante desastres como las sequías prolongadas.

Valor de función

A mayor cobertura del Programa de Fomento Ganadero, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera ante estrés hídrico.



Observaciones

La SAGARPA (2018a) utilizó los componentes de PROGAN Productivo, el manejo y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales,

la capitalización productiva pecuaria, la productividad pecuaria, la bioseguridad pecuaria y el manejo posproductivo, para obtener:

1. Porcentaje de la superficie ganadera apoyada por el PROGAN Productivo en el municipio.
2. Porcentaje de las UPP's apoyadas en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 3.2. Organización de productores

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Brindan diversos servicios (representación, gestoría, asistencia técnica, compra de insumos, entre otras), para el fomento ganadero (SAGARPA, 2018a). Al formar parte de una organización de productores se puede conocer y gestionar algún apoyo por parte de alguna institución gubernamental, sobre todo ante algún evento hidrometeorológico, ya sea por exceso o déficit de precipitación.

Valor de función

0 - Indica que no hay organizaciones ganaderas en el municipio.

1 - Indica que sí hay organizaciones ganaderas en el municipio.

Observaciones

Datos proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CENAPRED (2010-2018). “Cobertura de At-las Municipales” [shapefile].

Variable 1.2

1. SADER (2018). “Monto y número de hectáreas y/o unidades animal apoyadas de SAGARPA” (archivo de texto csv). Datos Abiertos.

Variable 2.1

1. CONAFOR. (2015-2018). *Pago por servicios ambientales*. [shapefile].

Variable 2.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. CONANP (2010). *Áreas Naturales Protegidas*. [shapefile].
3. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas*. [shapefile].

Variable 2.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. La información del Manejo de las Tierras y Recursos Naturales se determinó con base a los resultados de encuestas de satisfacción correspondientes a ganado Bovino Carne y Doble Propósito.

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo*. [shapefile]. La información de superficie ganadera, vientres y Unidades de Producción Pecuarias de ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo se obtuvo de reportes del Sistema de Información SIPOGAN P.
 - INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].
 - SAGARPA (2013-2017). *Listado de beneficiarios del Programa de Fomento Ganadero*. [tabla excel]. La información de las solicitudes, monto de los apoyos y productores beneficiarios por otros componentes, distintos, se obtuvo del listado de beneficiarios del Programa de Fomento Ganadero (2013-2017), en el Portal de Obligaciones de Transparencia de la SAGARPA.

Variable 3.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SAGARPA (2017). *Asociaciones Ganaderas Locales Generales*. [tabla excel]. (Comunicación interinstitucional). El número total de Asociaciones Ganaderas Locales Generales por munici-

pio que se infiere que son de ganado bovino y ganaderas especializadas en ganado ovino y caprino, se obtuvo del oficio núm. 03.01.25254/2017 de la Dirección del Registro Nacional Agropecuario del 7 de diciembre de 2017.

- *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo.* [shapefile]. En el caso de municipios donde el número total de Unidades de Producción Pecuarias

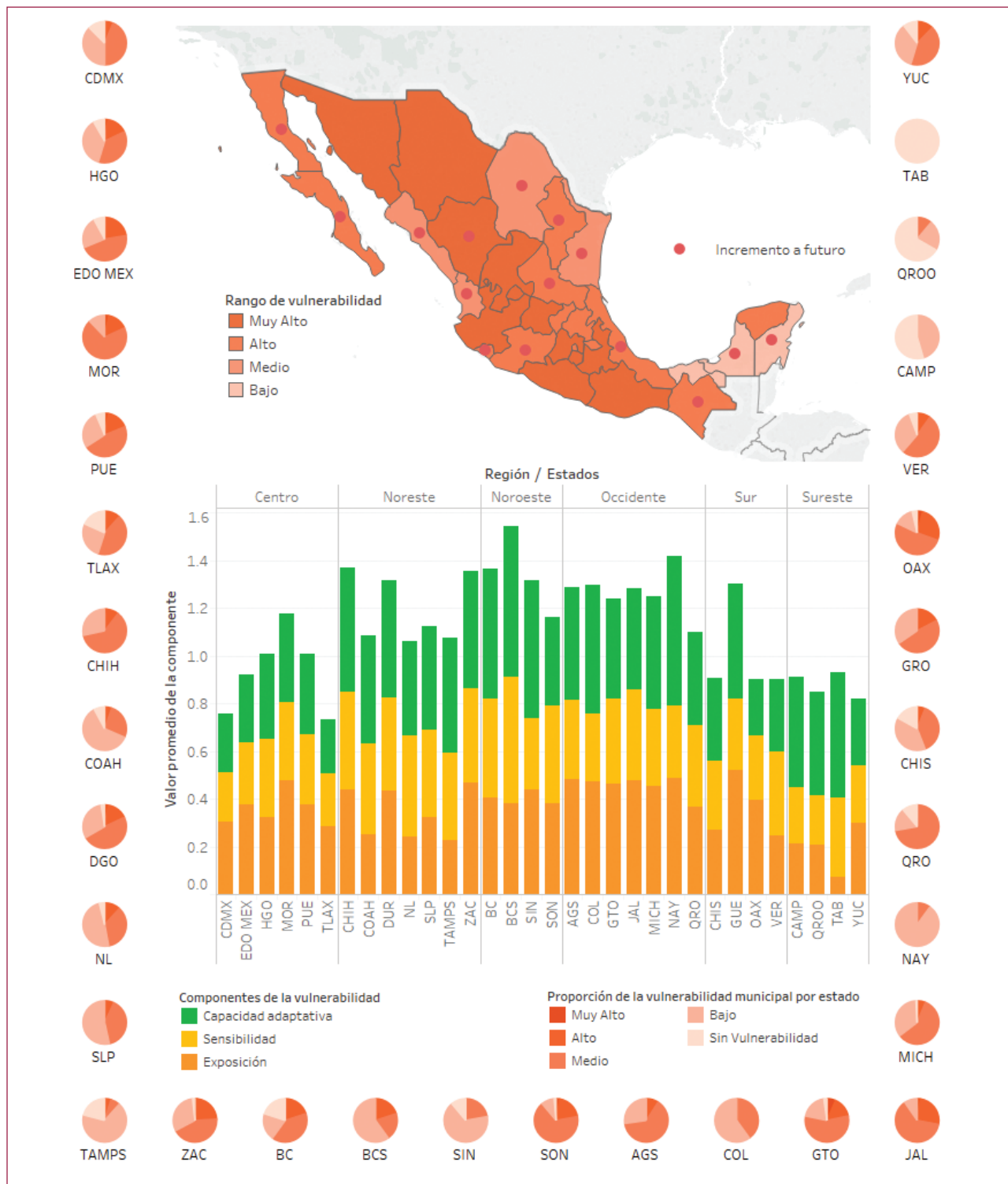
y rumiantes apoyados por el PROGAN (2013-2017) sean superiores a los obtenidos con información del INEGI se tomó en consideración la información del PROGAN.

- INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.* [archivo de texto csv]. Se obtuvo el número total de Unidades de Producción Pecuarias con rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos) y el número total de rumiantes, referidos en Unidades Animal.



▲ **Producción ganadera de pastoreo en Yucatán.** Tomada de: <https://www.gob.mx/senasica/galerias/cenasa-laboratorio-de-referencia-de-la-oie-para-rabia>

Mapa 9.1. Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico



En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de la producción ganadera ante estrés hídrico por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alto a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Referencias

- Albéitar (2003). El agua y su importancia para los bovinos.
- Ángel Sánchez, Y. K., Pimentel Tapia, M. E. y Suárez Salazar, J. C. (2017). Importancia cultural de la vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a17.pdf>
- Cervantes Ramírez, M. C., (s/f). Las zonas áridas y semiáridas de México en *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Recuperado de: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/127/120/416-1>
- CONABIO (2017). Sitio web disponible en: http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbt_mexico.html
- CONANP (2010). Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/pago-por-servicios-ambientales-en-areas-naturales-protegidas>
- Cornejo-Ayala, F. N. (2006). Análisis del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones en la séptima región del Maule (tesis de licenciatura) Universidad de Talca, Chile. Recuperado de: http://eias.uta.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/cornejo_ayala_f.pdf
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J. L. y González, D. (2010). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. En Cotler H. (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- Duarte, E. (s/f). Uso del agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I) ¿Cuánta agua toma una vaca? Plan Agropecuario. Recuperado de: https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf
- ECOBONA-DEPROSUR (2017). Alimentación del ganado y sistemas de pastoreo. *El Productor*. Recuperado de: <https://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-salud-animal/alimentacion-del-ganado-y-sistemas-de-pastoreo/>

- FAO (2018). *Producción Animal*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- FAO (2014a). *Producción y Sanidad Animal*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (2014b). La gestión de riesgos climáticos catastróficos para el sector agropecuario en México: caso del Componente para la Atención a Desastres Naturales para el Sector Agropecuario. Recuperado de: <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13954329605800/cadena.pdf>
- FAO (2007). *Secuestro de carbono en tierras áridas. Informes sobre recursos mundiales de suelos*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf>
- FAO (s/f). La organización de los productores en el contexto de la globalización: la experiencia de la confederación nacional ganadera. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/AD727S/AD727S05.htm>. Consultado en agosto 2018
- FEDEGAN (2013). *Planeación forrajera, herramienta esencial para la nutrición bovina*. Contexto Ganadero. Colombia: Federación Nacional de Ganaderos. Recuperado de: <http://www.contextoganadero.com/reportaje/planeacion-forrajera-herramienta-esencial-para-la-nutricion-bovina>
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 50:67-76.
- GEO México (2004). *Perspectiva del medio ambiente en México*. Kenia: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8986/-Perspectivas_del_medio_ambiente_en_M%C3%A9xico_-_GEO_M%C3%A9xico-2004GEO_Mexico_2004_1.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- González Valenzuela, E. A. y Ávila Curiel, J. M. (2010). Manejo de la sequía en ranchos ganaderos del noreste de México. Recuperado de: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2711/852.pdf?sequence=1>
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 4(1): 169-178. Recuperado de: <http://revistas.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfalV2148.pdf>
- Gutiérrez, B. H., Aguirre, C. E. C., Ibarra, J. M. F., González, F. C., Gutiérrez, R. L. y Martínez, G. T. (2012). *Alimentación y manejo de bovinos en agostadero durante épocas de sequía*. Folleto Técnico No. 45. México: Campo Experimental Zacatecas CIRNOC-INIFAP.
- Hernández Cerda, M. E., Carrasco Anaya, G. y Alfaro Sánchez, G. (2007). *Mitos y realidades de la sequía en México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Hernández Domínguez, E. A. (2011). *Manual de prácticas de manejo para el ganado de engorda en el rancho Puente La Reyna. La Antigua*. [Trabajo práctico educativo como requisito parcial para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista]. México: Universidad Veracruzana.
- Hori, Y., Stuhlberger, C. y Simonett, O. (2011). *Desertificación. Una síntesis visual*. Francia: PNUMA/ GRID-Arendal/ Zoi Environment Network.
- INE (1994). *Manejo y rehabilitación de agostadero de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte)*. México: INE.
- INECC (2016). *Costos y beneficios de la agricultura de conservación y la ganadería planificada en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND). Informe final*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- Kanellopoulou, E. A. (2002). Spatial distribution of rainfall seasonality in Greece. *Weather*, 57(6): 215-219. Doi: <https://doi.org/10.1256/0043165027-60053576>
- Méndez, G. J., Nívar, C. J. J. y González, O. V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 65:38-55.
- Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P. A., González-Rodríguez, H. y Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. Recuperado de: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3193/2618>

- Neira Méndez, F. H. (2006). *Assessment of climate indices in drylands of Colombia*. Bélgica: Universiteit Gent.
- OEА (2008). *Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe*. Documento borrador. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo sostenible.
- Pineda, O. (2016). *El uso adecuado del agua en explotaciones de ganado bovino*. Boletín técnico. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación Viceministerio de Desarrollo Económico Rural. Recuperado de: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/uso-ade-cuado-agua-explotaciones-t39737.htm>
- Radrizzani, A. y Renolfi, R. (2004). *La importancia de los árboles en la sustentabilidad de la ganadería del chaco semiárido*. Argentina: GTR Recursos Naturales, INTA EEA. Recuperado de: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/25-importancia_arboles_en_sustentabilidad_ganaderia.pdf
- Rötter, R. y Van de Geijn, S. C. (1999). *Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock*. *Climate Change*, 43:651-681.
- Rzedowski, J. (2006). *Matorral xerófilo en vegetación de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC15.pdf>
- SAGARPA (2018a). *Comunicación personal y archivos electrónicos con las variables de sensibilidad de la Ganadería Extensiva al Cambio Climático*. México: Coordinación General de Ganadería/Dirección General Adjunta de COTECOCA/Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios.
- SAGARPA (2018b). *Componente Atención a Siniestros Agropecuarios 2018*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/379377/ATE_2018_Atenci_n_a_siniestros_Agropecuarios_Folio_301477.pdf
- SAGARPA (2016). *Zonas áridas, un rostro diferente del campo*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA (2014). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de carne de ganado bovino en confinamiento*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación / Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Recuperado de: <http://oncesega.org.mx/archivos/MANUAL%20DE%20BPP%20EN%20LA%20PRODUCCION%20DE%20CARNE%20DE%20GANADO%20BOVINO%20EN%20CONFINAMIENTO.pdf>
- SAGARPA (2012). *Programa Nacional Pecuario 2007-2012*. México: Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- SAN (2018). *Programa de Fomento Ganadero*. Plataforma de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Recuperado de: <https://plataformacelac.org/programa/376>
- Sánchez, S. N. y Garduño, L. R. (2008). *Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática*. *ContactoS* 68:5-10.
- SEMARNAT (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Suárez-Domínguez, H. y López-Tirado, Q. (s/f). *La ganadería bovina productora de carne en México. Situación actual*. México: Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de: <http://agrinet.tamu.edu/trade/papers/hermilo.pdf>
- Troyo Diéguez, E., Mercado Mancera, G., García Hernández, J. L., Nieto Garibay, A., Fenech Larios, L., Beltrán Morales, F. A. y Murillo Amador, B. (s/f). *Aplicación de índices de aridez y modificación escalar del índice de Martonne para adecuarlo a las condiciones hidroclimáticas de zonas áridas y semiáridas*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Bernardo_Amador/publication/255634156_Aplicacion_de_Indices_de_Aridez_y_Modificacion_Escalar_del_Indice_de_Martonne_para_Adecuarlo_a_las_Condiciones_Hidroclimaticas_de_Zonas_Aridas_y_Semiaridas/links/00b7d53b414ba73c9f000000/Aplicacion-de-Indices-de-Aridez-y-Modificacion-Escalar-del-Indice-de-Martonne-para-Adecuarlo-a-las-Condicion-es-Hidro-climaticas-de-Zonas-Aridas-y-Semiaridas.pdf
- Ulloa, F. (2011) *El entorno y la gestión del riesgo de desastre*. En UNESCO. *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*.

Recuperado de: <http://bvpad.indec.gov.pe/doc/pdf/esp/doc2344/doc2344-contenido.pdf>

UNESCO (1982). *Desarrollo de tierras áridas y semiáridas, obstáculos y perspectiva*. España: Serbal.

UNISDR (2009). Terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). Recuperado de: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Villagra, P. E, Giordano, C., Álvarez, J. A., Cavagnaro, J. B., Guevara, A., Sartor, C., Passera, C. B. y Greco, S. (2011). Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecol. Austral*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Alvarez18/publica-

tion/245024249_Ser_planta_en_el_desierto_estrategias_de_uso_de_agua_y_resistencia_al_estres_hidrico_en_el_Monte_Central_de_Argentina/links/00b7d51d5ca691cb99000000/Ser-planta-en-el-desierto-estrategias-de-uso-de-agua-y-resistencia-al-estres-hidrico-en-el-Monte-Central-de-Argentina.pdf

Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time *Weather* 36(7):201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>

Zhao, Y, Wang, C., Wang, S. y Tibig, L. V. (2005). Impacts of present and future climate variability on agriculture in the humid and sub-humid tropics. *Climatic Change* 70:73-116.





10

Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones





Ficha técnica

Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones

Grupo de trabajo:	Actividades económicas
Objeto vulnerable:	Producción ganadera
Unidad de agregación:	Municipal

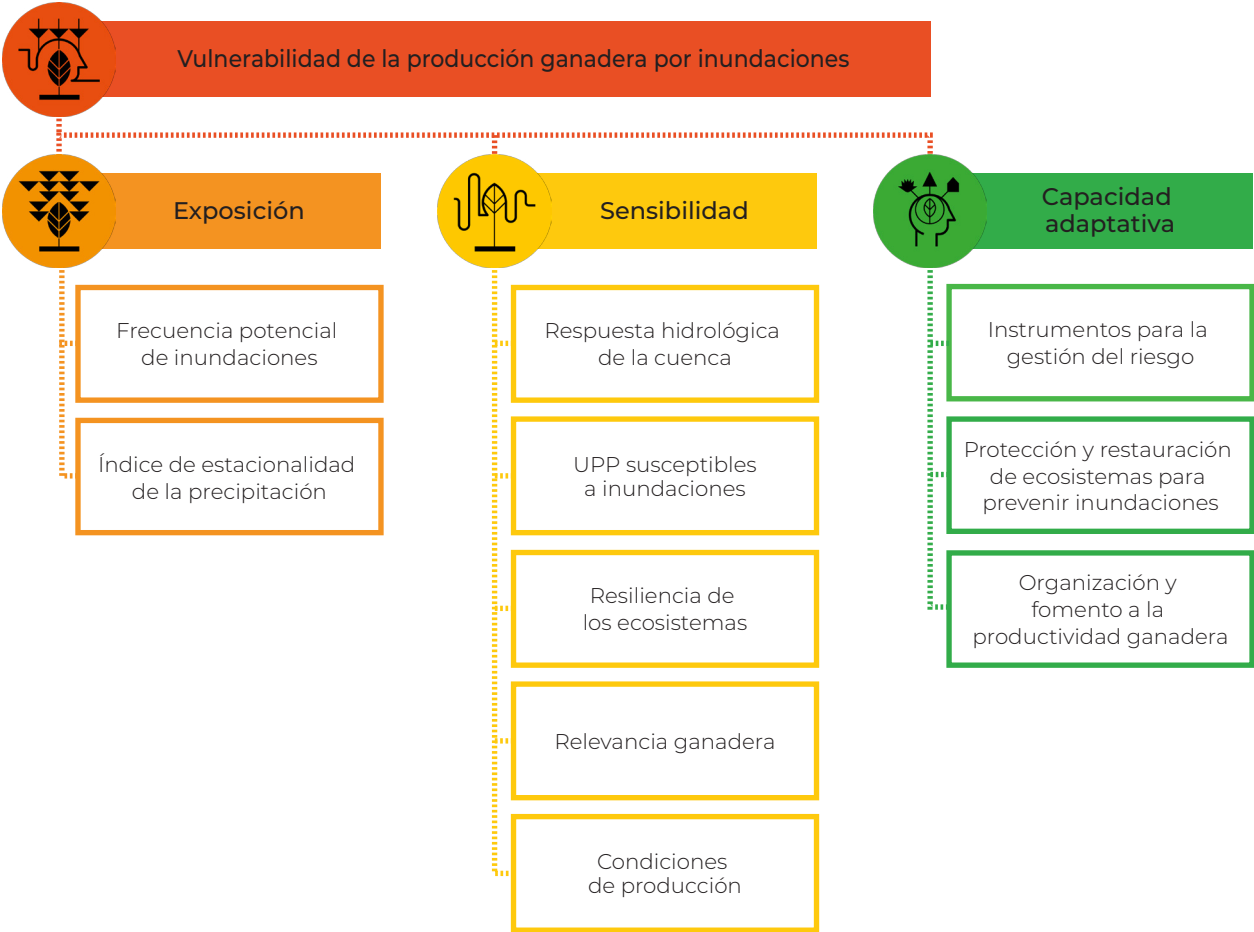
El resultado, diseño, desarrollo e implementación de la vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones, incluida en el ANVCC, es producto de la colaboración entre el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Coordinación General de Ganadería-Dirección General Adjunta de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)-Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). De esta manera, se aporta a la meta comprometida por SAGARPA en el Programa Especial de Cambio Climático (2014-2018) en su Línea de Acción 1.4.3: “Elaborar el atlas municipal de la vulnerabilidad ambiental de la ganadería extensiva al cambio climático”; Estrategia 1.4: “Fomentar acciones de adaptación en los sectores productivos” y Objetivo 1: “Reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de la población y la resistencia de la infraestructura estratégica”.

México es un país ganadero, esta actividad representa el principal uso de suelo con el 58% de las hectáreas disponibles en el territorio (SAGARPA, 2017). Por su extensión a lo largo del

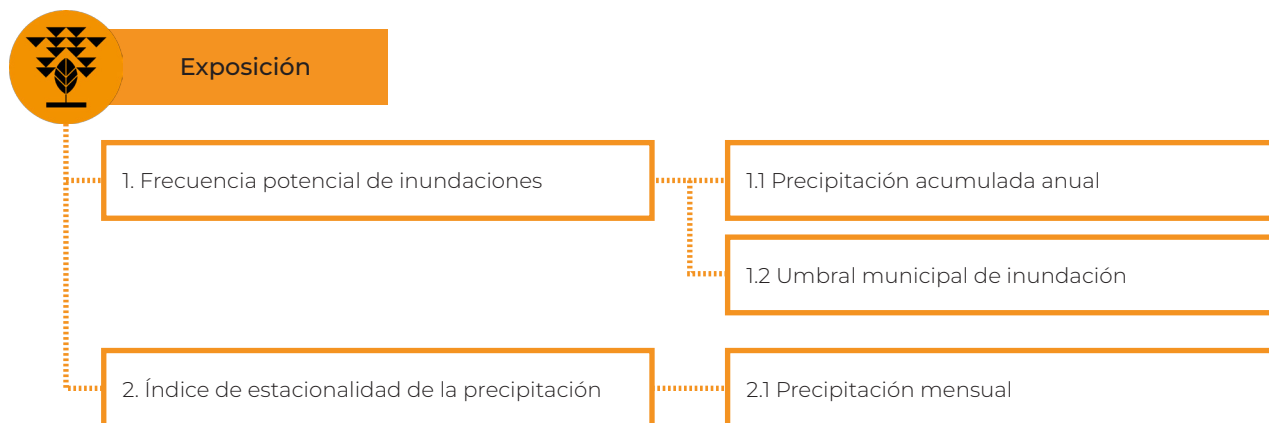
territorio, la producción ganadera puede ser impactada por eventos de tipo hidrometeorológico, como las inundaciones. Las inundaciones se consideran como el segundo evento adverso más importante para la ganadería por la muerte de ganado por ahogamiento, la falta temporal de forraje que conduce a la pérdida de peso y producción del ganado, la afectación al ciclo reproductivo del ganado, las restricciones para el pastoreo y enfermedades por exposición a lodo y materia fecal por anegamiento en los potreros. Las zonas ecológicas más susceptibles a la inundación son las zonas tropicales, donde se concentra una gran parte del hato nacional, sin embargo, este fenómeno también se presenta en otras regiones del país, de acuerdo con las características hidrológicas de las cuencas, la capacidad instalada y estado de conservación de la infraestructura hidroagrícola, el desbordamiento de ríos, las rupturas de diversas obras de almacenamiento de agua o por la descarga de agua en los embalses (SAGARPA, 2017).

Tan sólo en 2008 las lluvias atípicas e inundaciones en Tabasco causaron la muerte de 21,831 cabezas, de las cuales el 21.8% correspondió a ganado bovino y 1.9% a ovinos (CEPAL, 2011).

Configuración de índices



Exposición



Criterio 1. Frecuencia potencial de inundaciones

En las inundaciones influyen diversos parámetros climáticos y no climáticos. La magnitud de las inundaciones depende de la precipitación, su intensidad, profundidad, duración, temporalidad y distribución espacial (WMO, 2009; Stephens *et al.*, 2015; Koutroulis *et al.*, 2010; Froidevaux *et al.*, 2015). Al considerar el número de veces con la que distintos volúmenes de precipitación se presentan, se pueden identificar zonas potenciales a inundarse, por medio de la relación entre eventos de precipitación e inundaciones (CENAPRED, 2004; Froidevaux *et al.*, 2015; Koutroulis *et al.*, 2010; Stephens *et al.*, 2015). El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determinaron los umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal. Este umbral es útil para alertar a los municipios de la posible ocurrencia de una inundación en su territorio. Dado que esta información tiene una esca-

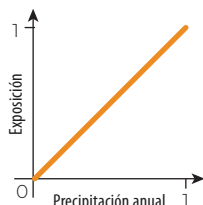
la temporal de horas, y la información de los escenarios de cambio climático se maneja de manera mensual o anual, para poder representar un indicativo de un potencial en frecuencia que pudiese superar este umbral, se dividió el acumulado anual entre este umbral. La exposición aumenta a medida que aumenta la frecuencia potencial de que se rebase el umbral.

Variable 1.1. Precipitación acumulada anual

Es la cantidad total de precipitación que se registra en un sitio a lo largo del año, la cual por lo general tiene una mayor contribución de meses húmedos, de acuerdo a su climatología. La precipitación acumulada proporciona información de la cantidad de lluvia en un sitio, región, estado o municipio. En este sentido, en México se pueden esperar precipitaciones anuales menores a 500 mm en zonas áridas y semiáridas (por ejemplo, el norte del país) y superiores de 2000 mm por año en la región del sureste. Asimismo, en la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial (CONAGUA, 2016).

Valor de función

A mayor precipitación acumulada anual, mayor exposición ante inundaciones.



Observaciones

La precipitación acumulada anual es la suma de la precipitación mensual durante los 12 meses del año. Se aplicó para los datos observados en el periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio climático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

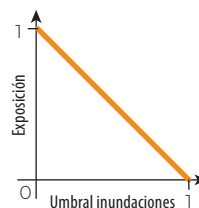
Variable 1.2. Umbral municipal de inundación

La precipitación ocasionada por ciclones tropicales, lluvias orográficas, lluvias invernales o frentes fríos y lluvias convectivas, puede ocasionar inundaciones, debido a la saturación del suelo de un terreno, donde la lluvia excedente comienza a acumularse, por horas o hasta días (CENAPRED, 2004). Para prevenir posibles inundaciones, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determinaron umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y un periodo de retorno de 5 años a escala municipal. Si los valo-

res de precipitación sobrepasan este valor fijo entonces sería un detonador de posibles inundaciones. Así como la precipitación varía a lo largo del territorio nacional, dependiendo de la climatología, el umbral también tendrá variaciones, en las regiones secas los valores serán menores comparados con aquellos de lugares húmedos.

Valor de función

A menor umbral, mayor será la exposición a inundación.



Observaciones

Para esta variable, se utilizaron como base los umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y un periodo de retorno de 5 años a escala municipal, elaborados por CONAGUA y CENAPRED.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Índice de estacionalidad de la precipitación

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, el cual se puede dividir en meses secos y meses húmedos. En México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez *et al.*, 2008). Los municipios donde el régimen de precipitación se con-

centra en pocos meses son más susceptibles a inundaciones, porque hay un mayor número de eventos continuos de lluvia, los cuales se acumulan exponiendo a la producción ganadera a avenidas súbitas de agua de lluvia por escurrimiento. Para representar la estacionalidad se ha utilizado el índice de estacionalidad (*SI*, por sus siglas en inglés), definido por Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividido por la precipitación anual del año, es decir:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| x_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

donde:

\bar{x}_n es el promedio de la precipitación del mes n

\bar{R} es el promedio anual de la precipitación.

El rango de valores del índice varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1.83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes).

El *SI* se integra como criterio porque determina la concentración de la precipitación en un periodo de tiempo dado, es decir, proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad de la lluvia (Kanellopoulou, 2002; Walsh y Lawler, 1981) y así poder relacionarla con eventos de inundaciones (Ye *et al.*, 2017).

En comparación con otros índices (Cornejo-Ayala, 2006), que pueden subestimar la ca-

racterización, el *SI* define los contrastes de lluvia con más detalle debido a su mayor número de clasificaciones.

Régimen de Lluvia	Límites de clases SI
Distribución de Lluvia muy constante	≤ 0.19
Constante pero con una temporada húmeda definida	0.20-0.39
Algo estacional con una corta temporada más seca	0.40-0.59
Estacional	0.60-0.79
Marcadamente estacional con una temporada seca más larga	0.80-0.99
Mucha lluvia en 3 meses o menos	1.00-1.19
Extrema, casi toda la lluvia en 1-2 meses	≥ 1.20

Fuente: Walsh y Lawler (1981).

Entre mayor sea el valor, la precipitación se concentra en menos meses. Si la precipitación es más estacional, ésta se relaciona con más eventos de lluvias torrenciales, que a su vez están relacionados con eventos de inundación (Poff *et al.*, 2006; Villarini *et al.*, 2009; Villarini *et al.*, 2011; Zhang y Qian, 2004).

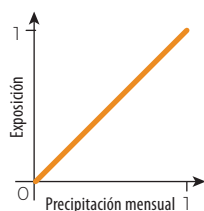
Variable 2.1. Precipitación mensual

Por medio del cálculo de la precipitación mensual se puede caracterizar su ciclo anual, el cual permite conocer la distribución de la lluvia durante el año. Es decir, cuáles meses son secos y cuáles húmedos, siendo estos últimos los más expuestos a la ocurrencia de precipitaciones que pueden ocasionar inundaciones. En una gran parte del territorio nacional, la temporada de lluvias se presenta en la mitad del año, durante los meses de mayo a octubre,

excepto en un área del noroeste donde predominan las lluvias en invierno. En la vertiente del Océano Pacífico, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de Baja California, la vertiente del Golfo de México, la región noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes elevadas de las montañas del sur del país, se presenta un máximo de precipitación durante septiembre, lo cual coincide con la temporada de ciclones tropicales. En las cuencas interiores del sur, así como sobre la Altiplanicie Mexicana, el máximo se presenta en los meses de junio o julio. En el extremo noroeste del territorio se tiene un régimen de lluvias con máximo en diciembre o enero. Mientras que las zonas del norte, noreste y noroeste de la porción continental tiene régimen de lluvias uniformemente distribuidas (García, 2003).

Valor de función

A mayor precipitación mensual, mayor exposición.



Observaciones

La precipitación mensual se utilizó como insumo para calcular el índice de estacionalidad y el promedio anual. Se aplicó para los datos observados en un periodo de 1950-2000 y con escenarios de cambio cli-

mático (modelos: CNRMC-M5, MPI-ESM-LR, HADGEM2-ES y GFDL-CM3 con RCP8.5 y el horizonte cercano 2015-2039).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data. [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].

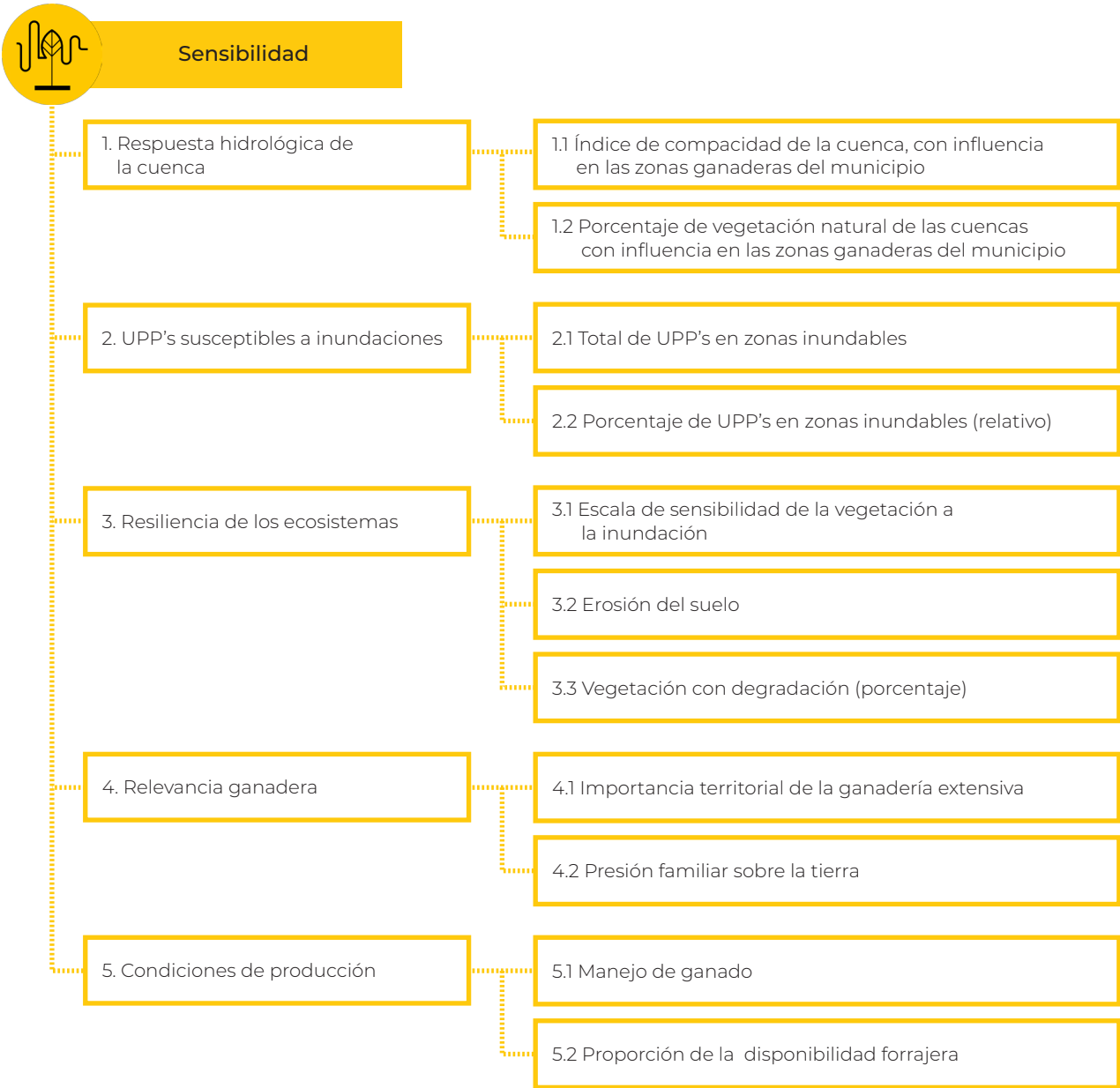
Variable 1.2

1. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].
2. CONAGUA-CENAPRED (s.f.). *Umbrales de inundación*. Comunicación interinstitucional.

Variable 2.1

1. INECC (2017). "Precipitación anual 1950-2000 y escenarios de cambio climático". WorldClim data. [Imagen Raster]. Escala no vista.
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].

Sensibilidad



Criterio 1. Respuesta hidrológica de la cuenca

La importancia de conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas reside en la posibilidad de estimar los recursos hídricos aporta-

dos por éstas y la respuesta ante eventos extremos y de este modo evitar riesgos por fuertes crecidas (Álvarez *et al.*, s/f). Las fuertes precipitaciones que caen sobre una cuenca saturan los suelos de humedad, producen fuertes

escorrentías y causan el desbordamiento de los cauces, provocando inundaciones en las tierras bajas (Narro, 1986). La función hidrológica de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento o infiltración. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, incluyendo a la naturaleza del suelo y la cobertura vegetal (Gaspari, 2002; Cruz-Romero *et al.*, 2015). La influencia de estos factores se puede cuantificar para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (López Cadenas de Llano, 1998; Méndez y Marcucci, 2006; Matter *et al.*, 2010).

Para incorporar criterios funcionales a unidades político-administrativas y considerar parámetros morfométricos de la cuenca, se hace una comparación entre la forma de la cuenca y las figuras geométricas y de esta manera se proporciona información sobre la concentración de los flujos en la cuenca (CORTOLIMA, s.f.). Por tanto, entre más redonda es la forma de la cuenca, la concentración de los flujos superficiales es más rápida, generando picos súbitos violentos ante tormentas extraordinarias, características que favorecen el escurrimiento directo y eleva el riesgo de inundaciones (Ortiz-Vera, 2015). Los flujos superficiales y el escurrimiento pueden ser regulados gracias a la vegetación natural de la cuenca, la cual además juega un papel clave en el aporte de servicios ambientales, mantiene la calidad del agua, protege el suelo de la erosión y controla las inundaciones, entre otras funciones. Sin embargo, factores como la deforestación y el

grado de transformación al interior de la cuenca modifican la funcionalidad de la vegetación, deteriorando la capacidad de regulación hídrica. Por ejemplo, la urbanización en las cuencas modifica el uso de suelo, aumentando el área impermeabilizada y disminuyendo el área de infiltración, el aumento del caudal de escurrimiento pico y la disminución del tiempo para alcanzar este pico (Rey-Valencia y Zambrano, 2018). De esta manera, la distribución espacial de la vegetación natural es un indicador para conocer el estado ambiental de una cuenca y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamentales para el ambiente y el ser humano (Cuevas *et al.*, 2010b).

Con base en estas características de las cuencas, se construyó el índice de “respuesta hidrológica” con la finalidad de considerar el impacto de los procesos de regulación de inundaciones de las cuencas en zonas ganaderas que se ubican en áreas inundables. Para asignar un valor municipal de estos criterios funcionales, se calculó el porcentaje de las zonas ganaderas que se encuentra en áreas inundables en cada cuenca, éste se multiplicó por los valores estandarizados del índice de compacidad y del porcentaje de vegetación natural para cada cuenca. El resultado final representa la sumatoria de los valores de todas las cuencas que contienen zonas ganaderas en áreas inundables para cada municipio.

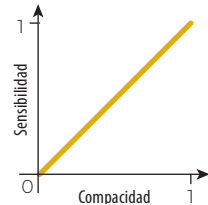
Variable 1.1. Índice de compacidad de la cuenca con influencia en las zonas ganaderas del municipio

Las cuencas con forma redonda a oval redonda concentran más rápidamente los flujos super-

ficiales, generando picos súbitos, características que favorecen el escurrimiento directo y elevan el riesgo de inundaciones (Ortiz-Vera, 2015; López-Pérez *et al.*, 2014). Para llevarlo a nivel municipal se tomó en cuenta el área de producción ganadera en las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio; el porcentaje de estas áreas en cada cuenca se multiplicó por el valor de ranqueo asignado y se hizo la suma de las cuencas con influencia en el municipio.

Valor de función

Mientras más cercano a 1 sea el índice de compacidad de la cuenca, se tendrá mayor susceptibilidad a inundaciones.



Observaciones

Para integrar esta variable se utilizarán los siguientes insumos:

- Límite de las cuencas hidrológicas de CONAGUA
- Límite municipal
- Zonas inundables
- Unidades de Producción Ganadera (UPP's) (SAGARPA, 2018a)

Primero se calculó el índice de compacidad de las cuencas hidrológicas, siguiendo el método de Gravelius. Después se deben categorizar los valores de (K) y asignarles el orden de ranqueo de acuerdo a su categoría:

ID_cuenca	Valor K	Categoría	Ranqueo
Cuenca 1	1.89	1	0.10
Cuenca 2	1.55	2	0.20
Cuenca 3	1.30	3	0.30
Cuenca 4	1.05	4	0.40
Cuenca 5	1.15	4	0.40

Se seleccionaron las cuencas que tienen influencia hidrográfica con el área ganadera de las UPP del municipio en zonas inundables (ZI), y se estimó el porcentaje de la zona ganadera del municipio en ZI contenida en cada cuenca. Se multiplicó el valor de orden de ranqueo por el porcentaje del área ganadera (%AGZI) del municipio en zonas inundables, por ejemplo:

ID_cuenca	Valor K	Categoría	Ranqueo	CVE_MPO	% Pob ZI	Var_IC
Cuenca 1	1.89	1	0.10	Mun 1	25	2.5
Cuenca 2	1.55	2	0.20	Mun 1	0	0
Cuenca 3	1.30	3	0.30	Mun 1	5	1.5
Cuenca 4	1.05	4	0.40	Mun 1	30	12
Cuenca 5	1.15	4	0.40	Mun 1	45	18

Para asignar el valor de índice de compacidad a los municipios, se realizó la sumatoria del producto del orden de ranqueo multiplicado por el porcentaje del área ganadera del municipio en ZI de la o las cuencas contenidas en el municipio (Var_IC).

$$Var_IC = \sum (0.1*25\%) + (0.2*0\%) + (0.3*5\%) + (0.4*30\%) + (0.4*45\%)$$

Unidad de agregación

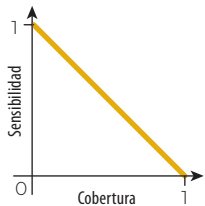
Municipio.

Variable 1.2. Porcentaje de vegetación natural de las cuencas con influencia en las zonas ganaderas del municipio

En una cuenca, el manejo inadecuado de los recursos naturales provoca un desbalance en la respuesta de los componentes del balance hídrico, aumentando considerablemente las velocidades y los volúmenes del escurrimiento, las tasas de desprendimiento, el transporte de sedimentos, y disminución de los procesos de infiltración y retención de agua (Marks *et al.*, 1993; Granada-Isaza *et al.*, 2013, Rey-Valencia y Zambrano, 2018). En este sentido, la cubierta vegetal preserva los recursos hídricos y los mecanismos de transferencia entre el suelo y la vegetación, conservando la calidad del agua, regulando la cantidad de ésta en los cauces, protegiendo el suelo de la erosión, controlando las inundaciones, entre otras (Cuevas *et al.*, 2010; Granada-Isaza *et al.*, 2013). La destrucción de la vegetación incrementa los efectos negativos de los procesos hidrológicos de superficie (Granada-Isaza *et al.*, 2012). La distribución espacial de la vegetación natural es un indicador del estado ambiental de una cuenca y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamentales para el ambiente y el ser humano (Cuevas *et al.*, 2010). Una mayor cobertura de vegetación natural ayuda a regular la cantidad y periodicidad de los cauces y controla las inundaciones, disminuyendo la susceptibilidad de la producción ganadera a inundaciones en la cuenca (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A mayor cobertura de vegetación natural, menor susceptibilidad de la producción ganadera ante inundaciones.



Observaciones

De las cuencas identificadas con influencia hidrográfica sobre el área ganadera de las UPP (AGZI) en zonas inundables, se calculó el porcentaje de vegetación natural con respecto a la superficie de la cuenca. Se categorizaron las cuencas y se les asignó un orden de ranqueo con respecto a su porcentaje de vegetación natural:

ID_cuenca	%VegNat	Categoría	Rank_Vegnat	CVE_MPO	% Pob ZI	Var_VegNat
Cuenca 1	45	3	0.30	Mun1	25	7.5
Cuenca 2	60	2	0.20	Mun1	0	0
Cuenca 3	35	3	0.30	Mun1	5	1.5
Cuenca 4	78	1	0.10	Mun1	30	3
Cuenca 5	55	2	0.20	Mun1	45	9

Para la asignación del valor de vegetación natural en los municipios, se realizó la sumatoria del producto del orden de ranqueo multiplicado por el porcentaje del área ganadera del municipio en ZI de las cuencas contenidas en el municipio (Var_VegNat).

$$\text{Var_VegNat} = \sum (0.3*25\%) + (0.2*0\%) + (0.3*5\%) + (0.1*30\%) + (0.2*45\%)$$

Para llevarlo a nivel municipal se tomó en cuenta el área ganadera ubicada en las zonas susceptibles a inundaciones del municipio, el porcentaje de área ganadera en cada cuenca se multiplicó por el valor de ranqueo asignado y se hizo la suma de la o de las cuencas con influencia en el municipio.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. UPP's susceptibles a inundaciones

México es un país ganadero, esta actividad representa el principal uso de suelo con el 58% de las hectáreas disponibles en el territorio (SAGARPA, 2017). La ganadería se desarrolla en forma extensiva en agostaderos y en menor superficie en praderas cultivadas (INIFAP, 2005). A esta superficie definida y delimitada en la que el productor lleva a cabo la cría del ganado se le denomina Unidad de Producción Pecuaria (UPP) (AGROCOF, 2017). De acuerdo con SAGARPA (2017), existen aproximadamente 1.2 millones de UPP's dedicadas a la ganadería extensiva. La producción ganadera puede ser impactada por eventos de tipo hidrometeorológico, como las inundaciones, principalmente en las zonas tropicales donde se concentra el mayor número de UPP's en México. Es necesario evaluar la susceptibilidad de los predios dedicados a la producción pecuaria, mediante el cálculo del área de las UPP's ubicadas en zonas suscepti-

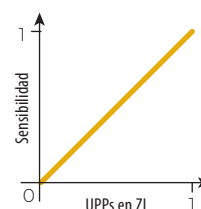
bles a inundaciones y su distribución en el municipio respecto a las zonas inundables. Para esto, se obtuvo la proporción entre el total y el porcentaje de las UPP's en zonas inundables para no sobreestimar o subestimar valores.

Variable 2.1. Total de UPP's en zonas inundables

Uno de los factores naturales que influyen en la distribución del pastoreo es la topografía, debido a que la capacidad de desplazamiento del ganado disminuye a medida que aumenta la pendiente del terreno. El ganado caprino y ovino pueden utilizar terrenos abruptos, mientras que los bovinos tienen la preferencia por los valles, los cuales son más susceptibles a eventos de inundaciones (INE, 1994). Para la evaluación de la susceptibilidad de la superficie ganadera se calculó el área de las UPP's y su distribución en el municipio respecto a las zonas inundables.

Valor de función

A mayor área de UPP's en zonas inundables, mayor susceptibilidad de la producción ganadera por inundaciones.



Observaciones

El número de UPP's registradas en el PROGAN se determinó de acuerdo con datos de SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

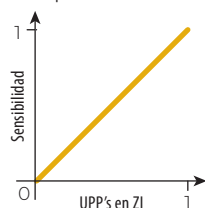
Municipio.

Variable 2.2. Porcentaje de UPP's en zonas inundables (relativo)

En la superficie de un municipio es necesario determinar el porcentaje de UPP's que es susceptible a inundaciones.

Valor de función

A mayor porcentaje de área de UPP's en el municipio en zonas inundables, mayor susceptibilidad en la producción ganadera.



Observaciones

El número de UPP's registradas en el PROGAN se determinó de acuerdo con datos de SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Resiliencia de los ecosistemas

Las zonas de pastoreo, por su alta biodiversidad, poseen una gran capacidad de recuperación (resiliencia) ante eventos como las inundaciones. En áreas donde se lleva a cabo un manejo sustentable, por medio de la regulación de la carga y la presión de pastoreo, aumenta la producción y la productividad. Por otro lado, un

manejo no sustentable puede conducir a un sobrepastoreo, el cual modifica la estructura de los pastizales, disminuye la biomasa aérea y la altura del pasto, reduce la cobertura del dosel y promueve la erosión. Incluso el mal manejo se asocia a un déficit nutricional, desencadenando pérdidas por ventas a malos precios, caída en las tasas productivas y reproductivas y una disminución en los activos e ingresos que tiene una duración de largo ciclo (Oyhantcabal, 2012).

En México, tan sólo el sobrepastoreo en los estados de Chihuahua, Sonora y Durango, ha llevado a una degradación del suelo de 71.2%, 55.5% y 52.2%, respectivamente (SEMARNAT, 2016). La ausencia de cobertura arbórea, el pisoteo constante del ganado y la precipitación, propician la degradación del suelo, en términos de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; entre las que destacan la compactación del suelo, la lixiviación de nutrimentos, y la pérdida de materia orgánica (Román *et al.*, 2007).

Si hay degradación de suelos y pérdida de vegetación, es posible que disminuya la productividad de la actividad pecuaria, ya que no habría alimento suficiente para el ganado por la falta de forraje natural (Sánchez *et al.*, 2017; Cotler *et al.*, 2007). Por otra parte, las áreas degradadas son más susceptibles a las inundaciones, debido a la erosión, ya que en el suelo desnudo es posible que se presenten alteraciones en la capacidad de infiltración, propiciando el escurrimiento superficial (Cotler *et al.*, 2007).

Variable 3.1. Escala de sensibilidad de la vegetación a la inundación

Los tipos de vegetación difieren en su capacidad para resistir a inundaciones, respecto al tiempo en que el agua permanece estancada y el espesor de su capa, además de las características anatómicas y fisiológicas de las especies vegetales dominantes. Se consideran todos los tipos de vegetación, praderas cultivadas y pastizales inducidos (fase serial de la vegetación) presentes en el municipio y la superficie que estos ocupan (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta la superficie con tipos de vegetación poco resistentes a la inundación, aumenta la sensibilidad.



Observaciones

La escala de sensibilidad municipal de la vegetación la determinó la SAGARPA (2018a) por interpolación lineal a partir de la escala de resistencia a la inundación, tomando como referencia los valores mínimos y máximos a nivel nacional. Al valor más bajo de resistencia a la inundación le corresponde el nivel de sensibilidad de 5 y al más alto el nivel de sensibilidad de 1.

La escala de resistencia a la inundación la calcularon con la siguiente ecuación:

$$ES.VI = (Sup.vp \times k1 \times Sup.pc \times k2 \times Sup.pi \times k3) / (Sup.t)$$

donde:

ES.VI = Escala de sensibilidad de la vegetación a la inundación

Sup.vp = Superficie con vegetación primaria

Sup.pc = Superficie de praderas cultivadas

Sup.pi = Superficie con pastizales inducidos

k1 = Escala de sensibilidad ponderada de la vegetación primaria

k2 = Escala de sensibilidad ponderada de las praderas cultivadas

k3 = Escala de sensibilidad de los pastizales inducidos

Unidad de agregación

Municipio.

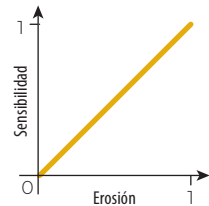
Variable 3.2. Erosión del suelo

Las diferentes condiciones climáticas y los usos de la tierra modifican la condición natural del suelo y en ciertas ocasiones lo degradan (Gaspari *et al.*, 2009). El suelo es considerado como un recurso natural no renovable, ya que es difícil de recuperarlo después de haber sido erosionado (Cardoza *et al.*, 2006). La erosión es uno de los procesos de degradación más importantes, que puede deberse al viento o al agua, siendo la lluvia el agente erosivo más dinámico que provoca el humedecimiento y la desincorporación de los agregados primarios del suelo, lo que conduce a la disminución de su capacidad de infiltración y retención de

humedad (INEGI, 2015). La actividad pecuaria y agrícola pueden erosionar el suelo, provocando pérdidas de sedimentos en la superficie y por tanto afectando el rendimiento de cultivos y forrajes, estos últimos naturales con los que el ganado extensivo se alimenta. Este impacto provoca la denudación del suelo por la excesiva carga animal y la falta de prácticas de conservación del suelo, aumentando el escurrimiento superficial en la época de lluvias (Gaspari *et al.*, 2009). Por lo tanto, es posible que los sitios se inunden con mayor facilidad, provocando pérdidas a los productores, por muertes de su ganado y disminución de áreas para pastoreo.

Valor de función

A medida que aumenta el grado de erosión, aumenta la susceptibilidad ante inundaciones.



Observaciones

SAGARPA (2018a) promediaron los valores de erosión actual de predios apoyados y no apoyados por el PROGAN localizados en el municipio, de acuerdo con el Reporte del Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera.

Unidad de agregación

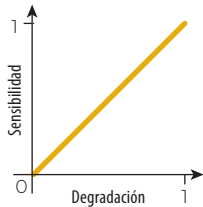
Municipio.

Variable 3.3. Vegetación con degradación (porcentaje)

La expansión de áreas para pastoreo, la agricultura, la tala clandestina, el mal manejo y la sobreutilización de la cubierta vegetal son actividades que mayor degradación han causado sobre la vegetación natural (SAGARPA, 2018a). El proceso de degradación se refiere a la alteración de la cubierta vegetal original sin desaparecer en su totalidad, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales originales. Estos cambios en la superficie pueden alterar la estructura de los ecosistemas y con ello los bienes y servicios que el ecosistema ofrece. Asimismo, esta condición favorece la ocurrencia de inundaciones, ya que se puede alterar la estabilización del suelo, la regulación del volumen y periodicidad de los caudales y la infiltración del agua (Cuevas *et al.*, 2010). El grado de degradación de la vegetación, así como su resistencia a las inundaciones, afectan de manera directa la estabilidad de los ecosistemas, en su productividad y en el tiempo de recuperación después de estos eventos (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta el porcentaje de la superficie con degradación, aumenta la susceptibilidad de la producción ganadera ante inundaciones.



Observaciones

SAGARPA (2018a) calculó esta variable de la siguiente manera:

1. El estado de conservación de la vegetación se determinó mediante monitoreo satelital utilizando los índices espectrales de la vegetación del 2000 al 2008, con los que se obtuvo la línea base municipal por grupo de vegetación (por medio de regresión lineal). Se consideró que la vegetación estaba en proceso de deterioro cuando el signo del coeficiente de regresión era negativo y cuando el signo del coeficiente era positivo se consideró que la vegetación estaba en proceso de recuperación.
2. El porcentaje de la vegetación con degradación se determinó con la siguiente ecuación:

$$Vdegra = \frac{\sum sgvd1 \dots sgvdn}{stv} \times 100$$

donde:

$Vdegra$ = Vegetación con degradación (%)

$sgvd1$ = Superficie del grupo de vegetación 1 con degradación

$sgvdn$ = Superficie del grupo de vegetación n con degradación

stv = Superficie total de la vegetación

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 4. Relevancia ganadera

La producción pecuaria se extiende en gran parte del territorio nacional, siendo una opción

para aquellos lugares donde no se tiene alguna otra alternativa productiva. En general, la ganadería genera más de un millón de empleos permanentes remunerados; la actividad pecuaria aporta el 45% del valor de la producción agropecuaria (SAGARPA, 2012). En México hay diferentes sistemas de producción asociados a diversos aspectos como: nivel tecnológico, adaptación a las áreas geográficas en donde se desarrollan, la afinidad productiva, las tendencias ancestrales de producción, la gama de climas, vegetación y disponibilidad de recursos alimenticios nacionales e importados. Para la producción de carne la región del trópico húmedo y seco es la que tiene un mayor aporte (35.4%), especialmente la zona sureste del país. Le siguen las zonas áridas y semiáridas (33%), mientras que las zonas templadas aportan el 31.6% (GEO México, 2004). Estas zonas podrían ser afectadas por inundaciones, las cuales pueden ocasionar pérdidas de unidades de producción además de la muerte del ganado, lo cual se reflejaría en la disminución de la producción de un municipio y, por tanto, de la economía de las familias que dependen de la actividad pecuaria, sobre todo pequeños productores.

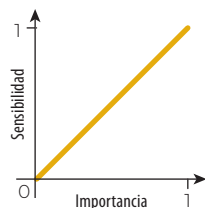
Variable 4.1. Importancia territorial de la ganadería extensiva

Para determinar esta variable, la superficie a considerar es aquella donde únicamente se desarrolla la actividad ganadera, en el país existen aproximadamente 1.2 millones de UPP de ganadería extensiva. Si estas zonas son afectadas por inundaciones, se podrían tener pérdidas de producción y de superficies pecuarias. En la medida que aumenta la super-

ficie ganadera, el número de UPP's y el inventario de ganado que se cría en condiciones de pastoreo, son más sensibles a los sistemas de producción ganaderos ante fenómenos hidrometeorológicos, como las inundaciones (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A mayor importancia territorial de la ganadería, mayor susceptibilidad a inundaciones.



Observaciones

La importancia territorial de la ganadería extensiva fue estimada por SAGARPA (2018a) con información del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 del INEGI.

Unidad de agregación

Municipio.

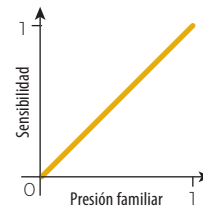
Variable 4.2. Presión familiar sobre la tierra

El grado de utilización de los recursos naturales en los predios ganaderos depende en gran medida de la cantidad de ganado que se introduzca en los potreros. Es común que a medida que aumentan las necesidades de ingresos familiares, por una mayor cantidad de dependientes económicos, se propicia que los dueños de la tierra busquen obtener mayores ingresos, introduciendo una mayor cantidad de ganado de la que pueden sostener sus tierras, lo mismo

sucede con otros recursos naturales que existen en los predios (SAGARPA, 2018a).

Valor de función

A medida que aumenta la presión familiar sobre la tierra, aumenta la susceptibilidad de la producción ganadera a inundaciones.



Observaciones

La escala de sensibilidad la obtuvo SAGARPA (2018a) a partir de la presión de los integrantes de la familia sobre la tierra, la cual calcularon al dividir la superficie promedio de la Unidad de Producción Pecuaria (UPP) entre el número promedio de los integrantes de familia (el propietario o poseionario de la tierra más sus dependientes económicos).

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 5. Condiciones de producción

Debido a la alta demanda de alimentos como la carne, es necesario incrementar la producción pecuaria para que el sector pueda satisfacer la creciente demanda de productos ganaderos de calidad y al mismo tiempo reducir al mínimo sus repercusiones en el medio ambiente y en los recursos naturales. Esto es posible si se hace un uso eficiente de los insumos de producción, como intervenciones en mate-

ria de sanidad animal, junto con tecnologías relacionadas con una zootecnia y un manejo de alimento adecuados. Sin embargo, en los sistemas productivos en pequeña o mediana escala, resulta difícil por la falta de formación, conocimientos y tecnologías apropiadas, agravado por un insuficiente acceso a los mercados, bienes y servicios y por la debilidad de las instituciones (FAO, 2018; FAO, 2014b).

El bienestar y la productividad ganadera están en situación de riesgo debido a factores ambientales que influyen en su comportamiento (Rötter y van de Geijin, 1999; Zhao *et al.*, 2005). Las inundaciones, por ejemplo, pueden repercutir en la salud del ganado debido a la propagación de enfermedades propias del mismo y en su mortalidad por ahogamiento o por un incremento de mordidas de serpientes venenosas (SAGARPA, 2018a). Además, ante inundaciones la disponibilidad de forrajes se puede reducir y por tanto conducir a una alta demanda de insumos e incremento de costos para los productores.

Variable 5.1. Manejo de ganado

Una productividad eficiente se puede asegurar a través de las buenas prácticas en el manejo pecuario que se utilizan en los sistemas de producción ganadera, ya sea en grandes comercializadoras o bien entre pequeños productores. Los sistemas actuales de confinamiento deben de estar a la expectativa de los avances en nutrición, salud y manejo animal, para ser eficaces en los procedimientos y actividades de la unidad de explotación (Hernández Domínguez, 2011). Para mejorar la eficiencia en la produc-

ción de ganado en condiciones extensivas de producción, es necesario mejorar la eficiencia reproductiva del ganado, que puede medirse en términos de porcentaje de destetes, lo cual es indispensable para mejorar la productividad, rentabilidad y competitividad del Subsector Ganadero. Al respecto, más del 50% de los vientres a nivel nacional no desteta un becerro al año, lo que implica un incremento en los costos de producción y reducción en la rentabilidad y sobrecarga en los agostaderos.

Para mejorar la eficiencia reproductiva del ganado es necesario contar con un manejo adecuado de la alimentación, reproductivo y zoonosanitario (SAGARPA, 2018a). Las crías y el ganado adulto son susceptibles a diversas enfermedades, sin embargo, la salud de los animales es fundamental para el éxito de la producción. Un buen manejo zoonosanitario evita la muerte de animales por enfermedad, garantiza un producto sano y previene la transmisión de enfermedades de los animales a los humanos (SAGARPA, 2014). Este tipo de manejo tiene vital importancia desde un punto de vista productivo y económico, debido a que cada vez hay mayores exigencias determinadas por los mercados, nacional e internacional, respecto a la sanidad e inocuidad alimentaria.

Aunque se tenga un buen manejo reproductivo y zoonosanitario, otro factor importante para la cría y producción del ganado, es la alimentación, ya que es necesaria para el buen desarrollo físico del ganado. Existen diversas fuentes de alimento para el ganado, sin embargo, en los sistemas extensivos de producción la mayor

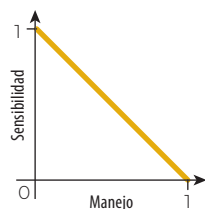
cantidad de alimento se obtiene directamente de la vegetación nativa, mediante el pastoreo, aunque también se suministran otras fuentes de alimentación para su complemento (esquilmos agrícolas, cultivos forrajeros, granos y concentrados) (SAGARPA, 2018a). Ante un estrés hídrico se puede agravar la disponibilidad de alimento, sin embargo, si se cuenta con un buen manejo del alimento y del recurso agua, la susceptibilidad del ganado disminuye ante un déficit de agua.

Para poder mejorar la eficiencia productiva del ganado es necesario contar con un manejo adecuado de la alimentación, la reproducción y las medidas zoonosanitarias (SAGARPA, 2018a).

Ante la ocurrencia de inundaciones, un buen manejo del ganado disminuirá la susceptibilidad de la producción, ya que el ganado estará en óptimas condiciones para enfrentar un evento de este tipo, respecto al control de enfermedades y disponibilidad de alimento.

Valor de función

A mejor manejo del ganado, menor susceptibilidad de la producción ganadera a inundaciones.



Observaciones

La variable se evaluó considerando el manejo de alimento, zoonosanitario y reproductivo, a

partir de datos proporcionados por SAGARPA (2018a), quienes utilizaron los resultados de las encuestas de satisfacción realizadas a nivel nacional por la Federación de Médicos Veterinarios Zootecnistas (FedMVZ) en 144,199 Unidades de Producción Pecuaria con ganado Bovinos Carne y Doble Propósito.

Unidad de agregación

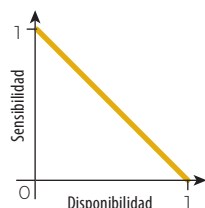
Municipio.

Variable 5.2. Proporción de la disponibilidad forrajera

El manejo apropiado de la ganadería, sobre todo la de pastoreo, radica en el uso apropiado de los recursos forrajeros. Sin embargo, en ocasiones, la oferta de alimento en un área determinada puede ser inferior a la demanda alimenticia de los animales, lo que indica que hay un número de animales muy elevado para esa área, es decir una sobreexplotación (FEDEGAN, 2013). Los cultivos forrajeros y los esquilmos agrícolas son importantes en la alimentación del ganado, como complemento del forraje que el ganado no consigue con el pastoreo directo. Estas fuentes de forraje se producen en las zonas agrícolas, que por lo general son más sensibles a las condiciones climáticas adversas comparadas con las tierras de uso ganadero (SAGARPA, 2018a). Por otro lado, también puede existir una subutilización que se traduce en menores aprovechamientos indicados como un desperdicio de capacidad. Incluso el exceso de alimento representa problemas de manejo al permitir la invasión de malezas (FEDEGAN, 2013).

Valor de función

A menor proporción de disponibilidad forrajera, mayor susceptibilidad de la producción ganadera a inundaciones.



Observaciones

Para esta variable se utilizaron los datos de balance entre la oferta y la demanda y contribución de las zonas agrícolas a la alimentación proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CONAGUA (2010). *Cuencas Hidrológicas*. [shapefile].
2. INEGI (2010). *División política municipal. Marco Geoestadístico Nacional*. [shapefile].
3. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca*. [shapefile].

Variable 1.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. INE (2010). *Zonas inundables. Diagnóstico de cuenca*. [shapefile].

Variable 2.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo. [shapefile]. Archivo con la ubicación geográfica de las Unidades de Producción Pecuaria, elaborado con base en el Reporte del Sistema de Información SI-PROGAN P.

Variable 2.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación personal-Información no pública).
 - Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo. [shapefile]. Archivo con la ubicación geográfica de las Unidades de Producción Pecuaria, elaborado con base en el Reporte del Sistema de Información SI-PROGAN P.

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
2. INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].
3. SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel].

Variable 3.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
2. SAEG (2012). *Reporte del Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera*. [tabla excel].

Variable 3.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - COLPOS-SAGARPA (2012). *Reportes del Sistema Nacional de Monitoreo Satelital Orientado a la Ganadería o SIMSOG*. [tabla excel].
 - INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].

Variable 4.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].

Variable 4.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. La superficie de las Unidades de Producción Pecuaria y el número de dependientes económicos del propietario o pose-

sionario se obtuvo de las encuestas de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN, realizada en Unidades de Producción Pecuarias correspondientes a Bovinos Carne y Doble Propósito.

Variable 5.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. El manejo de la alimentación animal se determinó usando los resultados de encuesta de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo correspondientes a Ganado Bovino Carne y Doble Propósito, donde se consideraron los siguientes criterios: suministro y frecuencia de utilización de sales minerales, concentrados, granos, ensilados o henificados y esquilmos agrícolas; así como las acciones de manejo del pastoreo.
 - FedMVZ. (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. Se evaluaron las acciones y manejo reproductivos usando los resultados de las encuestas de satisfacción a las Unidades de Producción Pecuarias apoyadas por el PROGAN Productivo realizadas por Convenio de Colaboración con la SAGARPA en 144,199 Unidades de Producción Pecuaria, correspondientes a Ganado Bovino Carne y Doble Pro-

pósito. Para calcular el porcentaje de destetes se consideraron las variables de número de vientres totales existentes en 2014 y número de crías nacidas destetadas en 2014.

- FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. El manejo zoosanitario se evaluó usando los resultados de las encuestas de satisfacción a las Unidades de Producción Pecuaria apoyadas por el PROGAN Productivo realizadas por Convenio de Colaboración con la SAGARPA en 144,199 Unidades de Producción Pecuaria, correspondientes a Ganado Bovino Carne y Doble Propósito. Se consideraron los siguientes tipos de manejo: vacunaciones, desparasitación interna del ganado, desparasitación externa del ganado y calendarización zoosanitaria.

- *Capacidad Forrajera por zona ecológico-ganadera*. [tabla excel].
- INEGI (2006-2010). *Uso de suelo y vegetación Serie IV*, año de referencia 2007. [shapefile].
- SARH (1978-1982). *Monografías Estatales o Regionales de los Coeficientes de Agostadero*. [tabla excel].
- Coordinación General de Ganadería. *Capacidad Forrajera de Praderas por Zona Ecológico-Ganadera*. SAGARPA.
- INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].

Nota aclaratoria

Se presentó el caso en el que algunos municipios no tenían área susceptible a inundaciones de acuerdo al mapa de zonas inundables utilizado pero que sí presentaban declaratoria de desastres por inundación. Para este caso, como para el cálculo de la sensibilidad se necesita conocer el área susceptible a inundaciones, a estos municipios se les asignó el valor medio de la sensibilidad para no influir en los extremos de los datos de la vulnerabilidad.

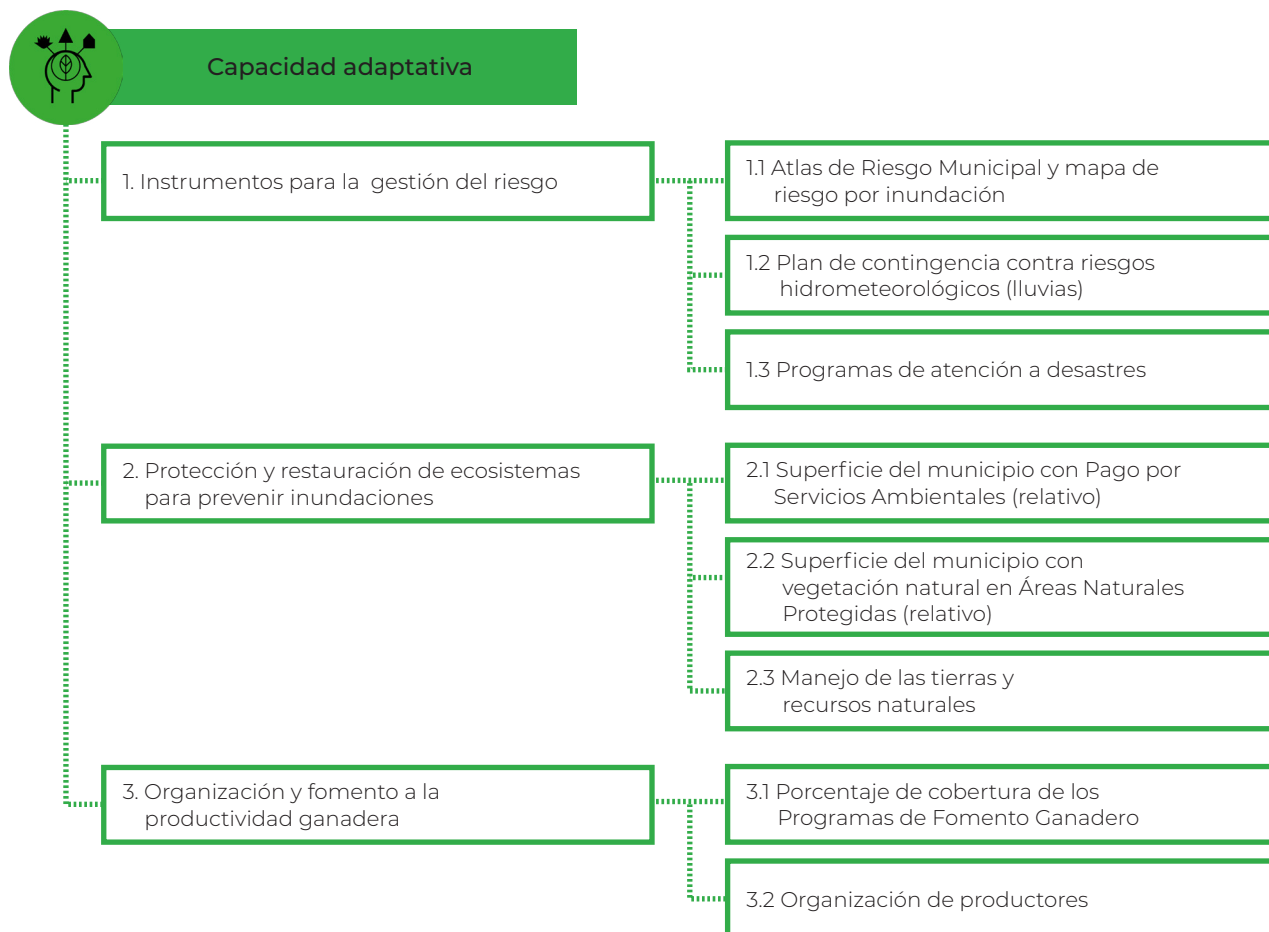
Variable 5.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).



▲ Fotografía de: ArtTower / www.pixabay.com

Capacidad adaptativa



Criterio 1. Instrumentos para la gestión del riesgo

Por lo general las actividades agropecuarias presentan mayor vulnerabilidad ante la presencia de contingencias climatológicas, particularmente aquellas relacionadas con la falta o el exceso de precipitación pluvial, y, en menor escala, aunque cada vez con mayor frecuencia, las temperaturas extremas (FAO, 2014a).

El criterio de instrumentos para la gestión del riesgo toma en cuenta la formulación de

planes y programas dirigidos a implementar medidas de prevención ante inundaciones y sequías. La gestión del riesgo implica conocer los peligros a los que se está expuesto ante la variabilidad climática y el cambio climático, además permite integrar los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados (Ulloa, 2011). Por lo tanto, la existencia de instrumentos de gestión del riesgo a nivel municipal es un elemento muy importante para promover los esfuerzos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales

de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad (UNISDR, 2009).

Variable 1.1. Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por inundación

Esta herramienta apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio. Además, permite el análisis territorial, para así desarrollar medidas de prevención para la seguridad de la población e infraestructura.

Valor de función

0 - Indica que no tiene atlas de riesgo municipal.

1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no con mapa de inundación.

2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y mapa de inundación.

Aumenta la capacidad adaptativa de la producción ganadera si se cumple 1 y 2.

Observaciones

Información generada con base en la revisión de los Atlas de Riesgo de cada municipio. Los fenómenos meteorológicos que se integran en el atlas de riesgo municipal son:

- Sequía
- Heladas
- Tormentas eléctricas
- Tormentas de granizo
- Tormentas de nieve
- **Inundaciones**

- Ondas gélidas y cálidas
- Ciclones tropicales
- Tornados
- Viento
- Erosión y acreción costera

La información de las condiciones 0, 1 y 2 se normalizó para tener la contribución de cada una de ellas entre los valores de 0 y 1.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.2. Plan de contingencia contra riesgos hidrometeorológicos (lluvias)

Los Programas Municipales de Protección Civil ante contingencias de fenómenos hidrometeorológicos son un instrumento de planeación y operación, que previenen y preparan a los municipios para responder efectivamente ante la presencia de riesgos asociados a los fenómenos hidrometeorológicos que pudieran generar una emergencia o desastre. Además orientan sobre la identificación y análisis de riesgos, tanto internos como externos, para definir e implementar acciones y procedimientos preventivos y de respuesta, acorde a la capacidad y las necesidades particulares, desde un punto de vista de protección civil (SAGARPA, 2018a).

Los planes de contingencia son una herramienta importante para la ganadería extensiva ante inundaciones, ya que gracias a estos los productores pueden tomar medidas para resguardar el ganado y así evitar pérdidas.

Valor de función

0 - Indica que no se cuenta con un plan municipal de contingencias.

1 - Indica que se cuenta con un plan municipal de contingencias.

Observaciones

La información de los municipios que cuentan con Programas de Protección Civil ante contingencias de efectos meteorológicos (lluvias) fue proporcionada a la DGA mediante el oficio núm. DGPC/1534/2017, por la Dirección General de Protección Civil (SEGOB) (SAGARPA, 2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 1.3. Programas de atención a desastres

El apoyo del Programa de Atención a Desastres es un componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejora la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del Componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos: terremoto, erupción volcánica, maremoto y movimiento de ladera. Asimismo, considera cualquier otra condición climática atípica e impredecible que provoque afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018b).

Valor de función

0 - Indica que el productor no ha tenido apoyo del programa.

1 - Indica que el productor sí ha tenido apoyo del programa.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir inundaciones

En México existen serios problemas de degradación del suelo en las tierras de pastoreo cuya consecuencia es la reducción de los productos y servicios que se obtienen de ellas, como forraje, agua y áreas de recreación, asociado a una disminución en los inventarios ganaderos (INECC, 2016). La reducción en la cubierta vegetal y de la materia orgánica, así como la compactación y modificación de la estructura del suelo, dan lugar a una disminución en la capacidad de infiltración, por lo que el escurrimiento superficial aumenta dejando una menor humedad disponible para las plantas y favoreciendo los procesos erosivos. El impacto del pastoreo sobre un terreno varía dependiendo de la intensidad y duración del pastoreo, así como de las características de la cuenca. Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos. El beneficio directo, relacionado con la problemática abordada, de los servicios proveídos por las

áreas conservadas es el control de inundaciones, el cual disminuye el grado de sensibilidad, de la producción ganadera ubicada en las partes bajas de una cuenca. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los Programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA). Estos programas proveen dos beneficios importantes ante la problemática de las inundaciones, los cuales son infiltración del agua y el control de las inundaciones (OEA, 2008).

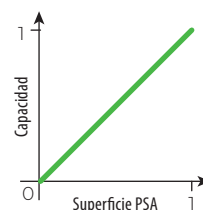
La protección del suelo ante la erosión; el control de los escurrimientos y por tanto de los azolves, el mantenimiento de la tasa de infiltración y del balance hidrológico, la conservación de la biodiversidad genética, la protección al hábitat de la fauna silvestre y la producción ganadera, se verían favorecidos por la restauración de la vegetación de los agostaderos y su manejo adecuado (INE, 1994).

Variable 2.1. Superficie del municipio con Pago por Servicios Ambientales (relativo)

Se consideran las áreas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Las cuales representan la presencia de criterios en las masas forestales que promueven la conservación en el contexto de instrumentos económicos diseñados para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficia a la sociedad (CONANP, 2010).

Valor de función

A mayor superficie elegible para el esquema de pagos por servicios ambientales, mayor capacidad adaptativa ante inundaciones.



Observaciones

A partir de estudios e investigaciones realizados por la CONAFOR, se definen las áreas elegibles en ecosistemas forestales de México. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con PSA, lo cual permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

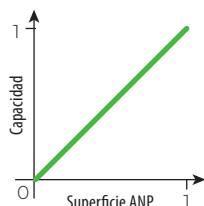
Municipio.

Variable 2.2. Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativo)

Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos (OEA, 2008). El beneficio directo, relacionado con la problemática abordada, de los servicios proveídos por las áreas conservadas es incrementar la capacidad del suelo para retener la lluvia y promover los procesos de infiltración y de escurrimiento sub-superficial. Áreas con suelos conservados producen más forraje y de mayor calidad, además de reducir la severidad, el impacto y los riesgos financieros en época de estiaje y sequías (González y Ávila, 2010).

Valor de función

A mayor superficie del municipio con vegetación natural en área natural protegida, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera a inundaciones.



Observaciones

Se distingue en Áreas Naturales Protegidas nacionales, estatales y municipales. El valor relativo se obtuvo calculando el total y el porcentaje del área con ANP, lo cual permite no sobreestimar o subestimar valores.

Unidad de agregación

Municipio.

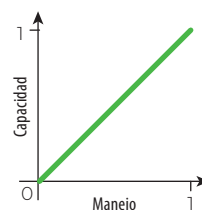
Variable 2.3. Manejo de las tierras y recursos naturales

El manejo y la conservación de los recursos naturales en los predios ganaderos son de suma importancia en la producción animal. Puesto que la calidad de la dieta del ganado, el confort animal y la conservación de los recursos base de la ganadería extensiva para la producción animal (suelo, agua y vegetación), están en función del manejo del pastoreo, del ganado y las medidas de conservación de la vegetación y la fauna. En este sentido la asistencia técnica es de suma importancia para incrementar la producción animal de una manera sustentable y de no sobrepastorear los agostaderos. Es importante considerar si se cuen-

ta con este servicio, su frecuencia y su calidad (SAGARPA, 2018a). De esta manera los productores pueden enfrentar de una manera adecuada las contingencias ante inundaciones, reflejándose en pocas pérdidas de ganado e incluso en la reposición del mismo después de tales eventos.

Valor de función

Ante un mejor manejo de las tierras y recursos naturales, mayor capacidad adaptativa ante inundaciones.



Observaciones

Para el cálculo se utilizaron datos de asistencia técnica y de manejo y conservación de los recursos naturales proporcionados por SAGARPA (2018a), quienes emplearon los resultados de las encuestas de satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo, correspondientes a ganado Bovino Carne y Doble Propósito realizadas por la FedMVZ.

Unidad de agregación

Municipio.

Criterio 3. Organización y fomento a la productividad ganadera

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para poder aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tec-

nológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sanitarias e integración vertical y horizontal (rastros, empacadoras, fábricas de alimentos y medicamentos, etcétera) (FAO, s/f). Ante desastres causados por inundaciones, los productores pueden perder su ganado parcial o totalmente, así que disponer de recursos después del evento es importante para recuperar sus pérdidas. Ante este escenario ser integrante de una organización ayuda a los productores a gestionar apoyos económicos derivados de programas gubernamentales con los cuales puedan recuperar su ganado.

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Son actores clave tanto en la organización económica como para brindar diversos servicios a sus agremiados (la representación, la gestoría, la asistencia técnica, la compra de insumos, entre otras), la promoción del fomento ganadero y para atender diversos tipos de problemáticas, entre los que se debe contemplar el cambio climático, que incide en la producción y en la competitividad del sector (SAGARPA, 2018a).

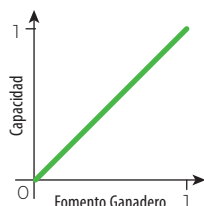
Variable 3.1. Porcentaje de cobertura de los Programas de Fomento Ganadero

El Programa de Fomento Ganadero es el programa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación que tiene como objetivo contribuir a aumentar la productividad de las unidades económicas pecuarias mediante la inversión en el sector pecuario. Entrega apoyos monetarios para que los

productores pecuarios incrementen la producción de alimentos de origen animal en las unidades económicas pecuarias. Los nombres de los componentes y su disponibilidad han variado de 2013 a 2017 (SAGARPA, 2018a), pero actualmente los incentivos económicos para las UPP se pueden agrupar en cinco componentes: 1) Componente de Capitalización Productiva Pecuaria, que se centra en la adquisición de activos productivos, infraestructura, maquinaria y equipo, perforación de pozos, repoblamiento y rescate de hembras, que contribuya al incremento de su productividad. 2) Componente de Sustentabilidad Pecuaria para la adquisición de bienes de apoyo que minimicen los efectos de los desechos, la mejora del control biológico de las explotaciones, así como reestablecer ecológicamente los recursos naturales de la ganadería rehabilitando agostaderos y mejorando las tierras de pastoreo. 3) Componente PROGAN Productivo, apoyos para incentivar la productividad de las especies pecuarias. 4) Componente de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico Pecuarios, con el cual se incentiva la adquisición de activos que permitan un cambio tecnológico sustantivo en la actividad ganadera. 5) Componente de Estrategias Integrales para la Cadena Productiva, que tiene como objetivo incrementar la productividad a través de incentivos a la postproducción pecuaria, recría pecuaria, reproducción y material genético pecuario, manejo de ganado, ganado alimentario y sistemas de producto pecuarios (SAN, 2018). Contar con apoyos favorece la producción forrajera e incluso puede aumentar la capacidad adaptativa ante desastres como las inundaciones.

Valor de función

A mayor cobertura del Programa de Fomento Ganadero, mayor capacidad adaptativa de la producción ganadera a inundaciones.



Observaciones

SAGARPA (2018a) utilizó los componentes de PROGAN Productivo, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, capitalización productiva pecuaria, productividad pecuaria, bioseguridad pecuaria y manejo posproductivo, para obtener:

1. Porcentaje relativo de la superficie ganadera apoyada por el PROGAN Productivo con respecto a la total.
2. Porcentaje relativo de las UPP apoyadas por todos los componentes del Programa de Fomento Pecuario, considerando a cada solicitud como una UPP, entre el total de UPP estimado con información del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI 2007.

Cuando el número total de UPP y superficie excedieron los inventarios municipales correspondientes, el porcentaje relativo se asignó como 1. Lo anterior, puede presentarse debido a que no se contó con información de la cantidad de solicitudes a diferentes componentes que ingresó un mismo titular de UPP durante el periodo 2013-2018.

Ambos datos a nivel municipal se usaron para obtener el porcentaje total de la cobertura general del Programa de Fomento Ganadero.

Unidad de agregación

Municipio.

Variable 3.2. Organización de productores

Las organizaciones ganaderas locales y especializadas agrupan y representan los intereses de sus agremiados (ganaderos). Brindan diversos servicios (representación, gestoría, asistencia técnica, compra de insumos, entre otras), para el fomento ganadero (SAGARPA, 2018a). Al formar parte de una organización de productores se puede conocer y gestionar algún apoyo por parte de alguna institución gubernamental, sobre todo ante algún evento hidrometeorológico, ya sea por exceso o déficit de precipitación.

Valor de función

0 - Indica que no hay organizaciones ganaderas en el municipio.

1 - Indica que hay organizaciones ganaderas en el municipio.

Observaciones

Datos proporcionados por SAGARPA (2018a).

Unidad de agregación

Municipio.

Insumos

Variable 1.1

1. CENAPRED (2010-2018). “Cobertura de At-las Municipales”. [shapefile].

Variable 1.2

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SEGOB (2017). *Programas de Protección Civil ante Contingencias de Efectos Meteorológicos*. [tabla excel] (Comunicación interinstitucional). La información de los municipios que cuentan con Programas de Protección Civil ante contingencias de efectos meteorológicos fue proporcionada mediante el oficio núm. DGPC/1534/2017, de la Dirección General de Protección Civil (SEGOB) del 13 de octubre de 2017.

Variable 1.3

1. SADER (2018). “Monto y número de hectáreas y/o unidades animal apoyadas de SAGARPA”. [archivo de texto csv]. Datos Abiertos.

Variable 2.1

1. CONAFOR (2015-2018). *Pago por servicios ambientales*. [shapefile].

Variable 2.2

1. INEGI (2011-2014). *Uso de suelo y vegetación Serie V*, año de referencia 2011. [shapefile].
2. CONANP (2010). *Áreas Naturales Protegidas*. [shapefile].

3. CONAGUA (2016). *Cuencas hidrológicas*. [shapefile].

Variable 2.3

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - FedMVZ (2016). *Encuesta de Satisfacción de los beneficiarios del PROGAN Productivo*. [tabla excel]. El manejo de las tierras y recursos naturales se determinó con base en los resultados de encuestas de satisfacción a los beneficiarios del PROGAN Productivo, correspondientes a ganado Bovino Carne y Doble Propósito.

Variable 3.1

1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - *Unidades de producción pecuaria en los municipios con ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo* [shapefile]. La información de superficie ganadera, vientres y Unidades de Producción Pecuaria de ganado Bovino Carne y Doble Propósito apoyadas por el Componente PROGAN Productivo se obtuvo de reportes del Sistema de Información SI-PROGAN P.
 - SAGARPA (2013-2017). *Listado de beneficiarios del Programa de Fomento Ganadero*. [tabla excel]. La información de las solicitudes, monto de los apoyos y productores beneficiarios

por otros componentes, distintos, se obtuvo del listado de beneficiarios del Programa de Fomento Ganadero (2013-2017), en el Portal de Obligaciones de Transparencia de la SAGARPA.

2. INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv].

Variable 3.2

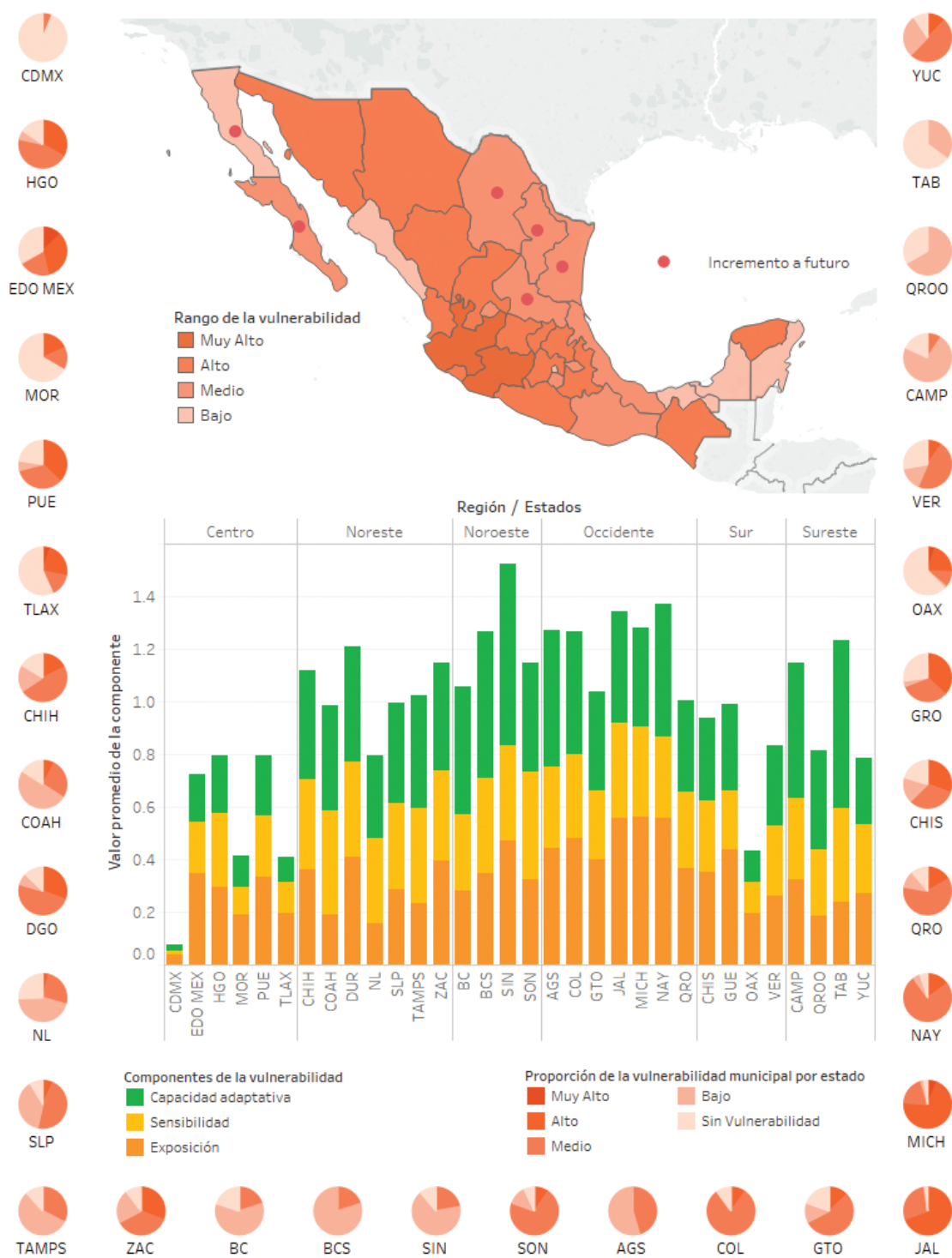
1. SAGARPA-Coordinación General de Ganadería-DGA de COTECOCA (2018a). (Comunicación interinstitucional).
 - SAGARPA (2017). *Asociaciones Ganaderas Locales Generales*. [tabla excel]. El número total de Asociaciones Ganaderas Locales Generales por municipio que se infiere que son de ganado bovino y ganaderas especializadas en ganado ovino y caprino, se obtuvo del oficio núm. 03.01.25254/2017 de la Dirección del Registro Nacional Agropecuario del 7 de diciembre de 2017.
 - INEGI (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. [archivo de texto csv]. El número total de Unidades de Producción Pecuaria con rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos) y el número total de rumiantes, referidos en Unidades Animal.
 - SAGARPA (2013-2017). *PROGRAN Productivo*. [tabla excel]. En el caso de municipios donde el número total de Unidades de Producción Pecuaria y rumiantes apoyados por el PROGAN (2013-2017) eran superiores a los obtenidos con información del INEGI se tomó en consideración la información del PROGAN.

En el mapa se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual de la producción ganadera por inundaciones por entidad federativa y clasificada de muy alta a baja. El punto rojo dentro del mapa indica un potencial incremento de más del 10% de la vulnerabilidad futura.

En las gráficas de barra se aprecia el promedio de las componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) para cada entidad. Con esta gráfica se muestra el aporte de cada una de las componentes a la vulnerabilidad, para cada uno de los estados en las seis regiones de acuerdo a los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT).

El marco está constituido por gráficas circulares que muestran la proporción de la clasificación de vulnerabilidad actual (de muy alto a sin vulnerabilidad) de los municipios por estado.

Mapa 10.1. Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones



Referencias

- AGROCOF (2017). *Unidades de Producción Pecuaria. Padrón Ganadero Nacional*. México: Agencia Especialista en Agroconstrucción y Forestal. Recuperado de: <https://agrocof.com/unidades-de-produccion-pecuaria-y-padron-ganadero-nacional-importancia-del-registro-pecuario-en-mexico/> Fecha de consulta julio de 2018.
- Álvarez, M., Varela, C., Soto, B., López, E. y Díaz-Fierros, F. (2001). *Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca fluvial y su relación con la precipitación*. España: Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago.
- Ángel Sánchez, Y. K., Pimentel Tapia, M. E. y Suárez Salazar, J. C. (2017). Importancia cultural de la vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a17.pdf>
- Cardoza, V. R., Cuevas, F. L., García, C. J. S., Guerrero, H. J. A., González, O. J. C., Hernández, M. H., Lira, Q. M. L., et al. (2006). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas*. México: CONAFOR.
- CEPAL (2011). *Tabasco: características e impacto socioeconómico de las lluvias extremas de 2008*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CENAPRED (2004). *Inundaciones*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres/Secretaría de Gobernación. Recuperado de: www.cenapred.gob.mx
- CONAGUA (2016). *Estadísticas del Agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- CONANP (2010) *Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/pago-por-servicios-ambientales-en-areas-naturales-protegidas>
- Cornejo-Ayala, F. N. (2006). Análisis del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones en la séptima región del Maule (tesis de licenciatura) Universidad de Talca, Chile. Recuperado de: http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/cornejo_ayala_f.pdf
- CORTOLIMA (s/f). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas las Panelas y la Balsa*. Colombia: Corporación Autónoma Regional del Tolima, pp 143-156. Recuperado de: <http://www.cortolima.gov.co/cuenca-gual-gesti-n-integral-recurso-h-drico>
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). *La conservación de suelos: un asunto de interés público*. *Gaceta Ecológica* 83:5-71.
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M. y Téllez López, J. (2015). *Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 64:26-34.
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J. L. y González, D. (2010). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. En Cotler H. (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- FAO (2018). *Producción animal*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- FAO (2014a). *La gestión de riesgos climáticos catastróficos para el sector agropecuario en México: caso del componente para la atención a desastres naturales para el sector agropecuario*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13954329605800/cadena.pdf>
- FAO (2014b). *Producción y Sanidad Animal*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/animal_production.html
- FAO (s.f.). *La organización de los productores en el contexto de la globalización: la experiencia de la confederación nacional ganadera*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/AD727S/AD727S05.htm>. Consultado en agosto 2018
- FEDEGAN (2013). *Planeación forrajera, herramienta esencial para la nutrición bovina*. Contexto Ganadero. Colombia: Federación Nacional de Ganaderos. Recuperado de: <http://www.contexto>

- toganadero.com/reportaje/planeacion-forraje-herramienta-esencial-para-la-nutricion-bovina. Consultado en agosto de 2018
- Froidevaux, P., Schwanbeck, J., Weingartner, R., Chevalier, C. y Martius, O. (2015). Flood triggering in Switzerland: the role of daily to monthly preceding precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(9):3903-3924. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3903-2015>
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Boletín del Instituto de Geografía* 50:67-76.
- Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Denegri, G. A. (2009). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelos por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana* 27(1):43-51.
- Gaspari, F. J. (2002). *Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Argentina: Ediciones Cooperativas.
- GEO México (2004). *Perspectiva del medio ambiente en México*. Kenia: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8986/-Perspectivas_del_medio_ambiente_en_M%C3%A9xico_-_GEO_M%C3%A9xico-2004GEO_Mexico_2004_1.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- González Valenzuela, E.A y Ávila Curiel, J.M. (2010). *Manejo de la sequía en ranchos ganaderos del noreste de México*. México: INIFAP-SAGARPA
- Granada Isaza, C. A., Ventura Ramos, E., Baumann, J., Oropeza Mota, J.L. y Mobayed, N. (2013). Efecto del estado de degradación en la respuesta hidrológica de dos unidades de escurrimiento en la cuenca del río La Sierra, México. *European Scientific Journal* 9:194-210.
- Granada-Isaza, C. A., Ventura-Ramos, E. y Oropeza-Mota, J. L. (2012). Reinforcement of soil imprinting with gypsum and polyacrylamide to control water erosion and runoff. *Terra Latinoamericana* 30(1):69-79.
- Hernández Domínguez, E. A. (2011). *Manual de prácticas de manejo para el ganado de engorda en el rancho Puente La Reyna. La Antigua*. [Trabajo práctico educativo como requisito parcial para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista]. México: Universidad Veracruzana.
- INE (1994). *Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte)*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INECC (2016). *Costos y beneficios de la agricultura de conservación y la ganadería planificada en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND). Informe final*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INEGI (2015). *Estadísticas a propósito del... día mundial del suelo (5 de diciembre)*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/suelo0.pdf>
- INIFAP (2005). *Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1104/166.pdf?sequence=1>
- Kanellopoulou, E.A. (2002). Spatial distribution of rainfall seasonality in Greece. *Weather*, 57(6): 215-219. Doi: <https://doi.org/10.1256/004316502760053576>
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K. y Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394(1-2):90-100. doi: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.04.025>
- Lastra, M. I., Peralta, A., Villamar, A., Segura, M., Barrera, H., Guzmán, V. y Domínguez, R. (2001). *La producción de carne en México y sus perspectivas 1990-2000*. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/19/carne.pdf>
- López Cárdenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión*. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Ministerio de Medio Ambiente.
- López-Pérez A., Martínez-Menes, M. y Fernández-Reynoso, D. (2014). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua* VI(1):121-137.
- Marks, D., King, G. A. y Dolph, J. (1993). Implications of climate change for the water balance of the Columbia River Basin, USA. *Climate Research* 2:203-213.
- Matter, M. A. et al. (2010). Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper

- Colorado River Basin. *Journal of Hydrology* 380(3): 260-276.
- Méndez, G. J., Návar, C. J. J. y González, O. V. (2008). *Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 65:38.
- Méndez, W. y Marcucci, E. (2006). *Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana* 47(1):29-55.
- Narro, H. F. (1986). *Flujos hídricos potenciales en una cuenca fluvial semiárida (Río Guadalentín). Papeles de Geografía Física* 11:35-43.
- OEА (2008). *Guía conceptual y metodológica para el diseño de esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latinoamérica y el Caribe*. [Documento borrador]. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos.
- Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. *Tecnología y Ciencias del Agua* VI(4):25-44.
- Oyhantcabal. (2012). Adaptación al cambio climático en la ganadería familiar: proyecto con el Fondo de Adaptación. Recuperado de: <http://www2.mgap.gub.uy/OpypaPublicaciones/ANUARIOS/Anuario2012/material/pdf/32.pdf>
- Poff, N. L., Bledsoe, B. P. y Cuhaciyan, C. O. (2006). Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology* 79(3-4):264-285. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.06.032>
- Rey-Valencia, D. y Zambrano, J. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palagrande. *Revista UIS Ingenierías* 17(1):115-126.
- Román, D. F., Levy, T. S., Perales, R. H., Neptalí, R. M. y López, M. S. (2007). Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada* 6(1, 2):1-8.
- Rötter, R. y Van de Geijn, S. C. (1999). Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock. *Climate Change* 43:651-681.
- SAGARPA (2018a). *Comunicación personal y archivos electrónicos con las variables de sensibilidad de la Ganadería Extensiva al Cambio Climático*. México: Coordinación General de Ganadería-Dirección General Adjunta de COTECOCA-Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios.
- SAGARPA (2018b). *Componente Atención a Siniestros Agropecuarios 2018*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA (2017). *Atlas de la Vulnerabilidad de la Ganadería Extensiva al Cambio Climático*. Coordinación General de Ganadería Dirección General Adjunta de COTECOCA. [diapositivas de Power Point].
- SAGARPA (2014). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de carne de ganado bovino en confinamiento*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación/Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Recuperado de: <http://on-cesega.org.mx/archivos/MANUAL%20DE%20BPP%20EN%20LA%20PRODUCCION%20DE%20CARNE%20DE%20GANADO%20BOVINO%20EN%20CONFINAMIENTO.pdf>
- SAGARPA (2012). *Programa Nacional Pecuario 2007-2012*. México: Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- SEMARNAT (2016). *Suelos. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. México: SEMARNAT. Recuperado de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SAN (2018). *Programa de Fomento Ganadero*. Plataforma de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Recuperado de: <https://plataformacelac.org/programa/376>
- Stephens, E., Day, J. J., Pappenberger, F. y Cloke, H. (2015). Precipitation and floodiness. *Geophysical Research Letters* 42(23):10,316-10,323. Doi: <https://doi.org/10.1002/2015GL066779>
- Ulloa, F. (2011) El entorno y la gestión del riesgo de desastre. En *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf>
- UNISDR (2009). *Terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR)*. Ginebra: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. Recuperado de: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications-and-publications-detail/11562>

unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

- Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A. y Krajewski, W. F. (2009). On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research* 45(8). Doi: <https://doi.org/10.1029/2008WR007645>
- Villarini, G., Smith, J. A., Baeck, M. L. y Krajewski, W. F. (2011). Examining Flood Frequency Distributions in the Midwest U.S.I. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 47(3):447-463. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00540.x>
- Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time. *Weather* 36(7):201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>
- WMO (2009). Integrated Flood Management. *Concept Paper* 32(1047). Recuperado de: http://www.apfm.info/pdf/concept_paper_e.pdf
- Ye, S., Li, H.-Y., Leung, L. R., Guo, J., Ran, Q., Demissie, Y. y Sivapalan, M. (2017). Understanding Flood Seasonality and Its Temporal Shifts within the Contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology* 18(7):1997-2009. Doi: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0207.1>
- Zhang, L.-J. y Qian, Y.-F. (2004). A Study on the Feature of Precipitation Concentration and Its Relation to Flood-Producing in the Yangtze River Valley of China. *Chinese Journal of Geophysics* 47(4):709-718. Doi: <https://doi.org/10.1002/cjg2.3541>
- Zhao, Y, Wang, C., Wang, S. y Tibig, L. V. (2005). *Impacts of present and future climate variability on agriculture in the humid and sub-humid tropics*. *Climate Change* 70:73-116.



11

Cambio de distribución potencial actual de especies prioritarias y en la NOM-059





Ficha técnica

Cambio de distribución potencial actual de especies prioritarias y en la NOM-059

Grupo de trabajo:	Sistema natural
Objeto vulnerable:	Especies endémicas, prioritarias y en la NOM-059
Unidad de agregación:	Nacional y Áreas Naturales Protegidas

La pérdida de especies es uno de los principales problemas a nivel global, que se puede agravar en un contexto de incertidumbre climática. Por ello, es importante generar información para evaluar el impacto potencial del cambio climático en las especies y en los ecosistemas, para diseñar y focalizar acciones de conservación y adaptación y salvaguardar los servicios ambientales de los que depende la sociedad.

En esta sección, el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), muestra el cambio en la distribución potencial de 206 especies, considerando las proyecciones de cambio climático. También presenta un análisis de la distribución de estas especies en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en México.

El análisis se basa en los resultados del estudio "Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático de la biodiversidad en México: el caso de las especies endémicas, prioritarias y en riesgo de extinción" (INECC-IB/UNAM, 2017)¹. El estu-

dio mencionado incorpora las proyecciones de cambio climático para presentar la transición a condiciones climáticas no análogas de la distribución potencial de 206 especies incluidas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y especies prioritarias para la conservación (DOF, 2014). De las especies analizadas, 157 son animales (65 aves, 46 reptiles, 28 mamíferos, 17 anfibios y 1 insecto) y 49 son plantas (3 coníferas, 4 helechos y 42 más de diferentes especies).

Método

Con base en la idoneidad climática se definió la distribución potencial actual de 206 especies. Utilizando los escenarios de cambio climático se identificó para la distribución potencial de cada especie la permanencia de la idoneidad climática (condición análoga) o el cambio de la misma (condición no análoga). Se consideraron las proyecciones de tres modelos de circulación general: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-CM3), Met Office Hadley Cen-

1. Descarga en línea en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/295904/CGACC_2017_Propuesta_metodologica_para_evaluar_la_vulnerabilidad_actual_y_futura_ante_el_cambio_climatico_de_la_biodiversidad_en_Mexico.pdf

ter (HADGEM2-ES) y Max Plank Institute for Meteorology (MPI-ESM-LR). El horizonte temporal elegido fue el cercano (2015-2039), con un forzamiento radiativo de 8.5 W/m².

Se construyó un solo mapa de condiciones análogas y no análogas para cada una de las 206 especies. Esto se realizó con una combinación de los resultados de los tres modelos a través de la integración de los pixeles con condiciones análogas/no análogas para cada especie (Figura 11.1).

Los mapas de condiciones análogas y no análogas integradas para las 206 especies se encuentran disponibles para su descarga en: http://mapas.inecc.gob.mx/apps/SPCondicionesNA/grafica_nacional.html.

Cambio a condiciones no análogas de la distribución potencial de especies a nivel nacional

Se calculó el porcentaje de la superficie de cambio (condiciones no análogas) de la distri-

bución potencial actual para cada una de las especies. La condición de cambio para cada especie se clasificó de acuerdo a los siguientes rangos: “Baja” (0-25%), “Media” (25-50%), “Alta” (50-75%) y “Muy alta” (75-100%). Las especies se agregaron de acuerdo al grupo taxonómico al que pertenecen (Figura 11.2).

Cambio a condiciones no análogas de la distribución potencial de especies en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México

Se diseñó un “Índice de cambio a condiciones climáticas no análogas” de la distribución potencial de las especies en las ANP. Se consideraron dos criterios:

1. **Condición de cambio.** Representa el número de especies que se distribuyen en cada ANP y la proporción de la superficie de cambio (condiciones no análogas) de la distribución potencial de cada una de estas especies dentro de la ANP. El cambio dentro de cada ANP se clasificó de

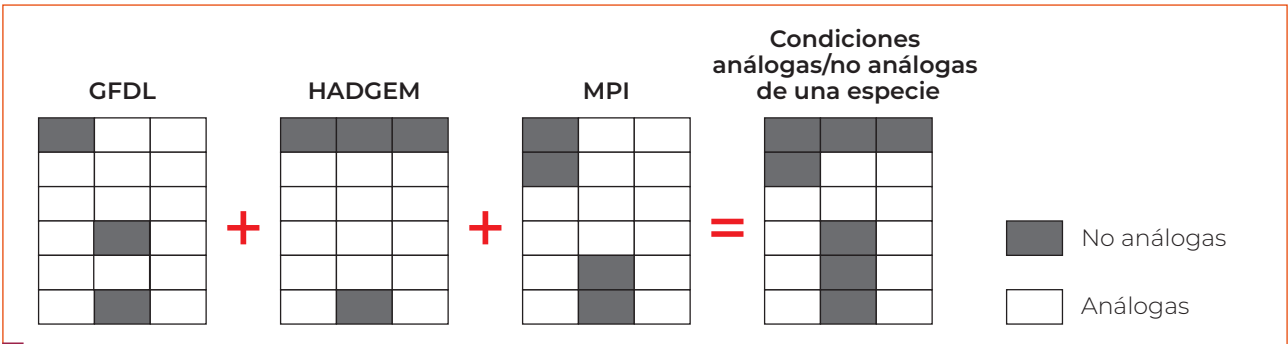


Figura 11.1. Combinación de modelos para la elaboración de mapas de condiciones análogas y no análogas para cada especie.

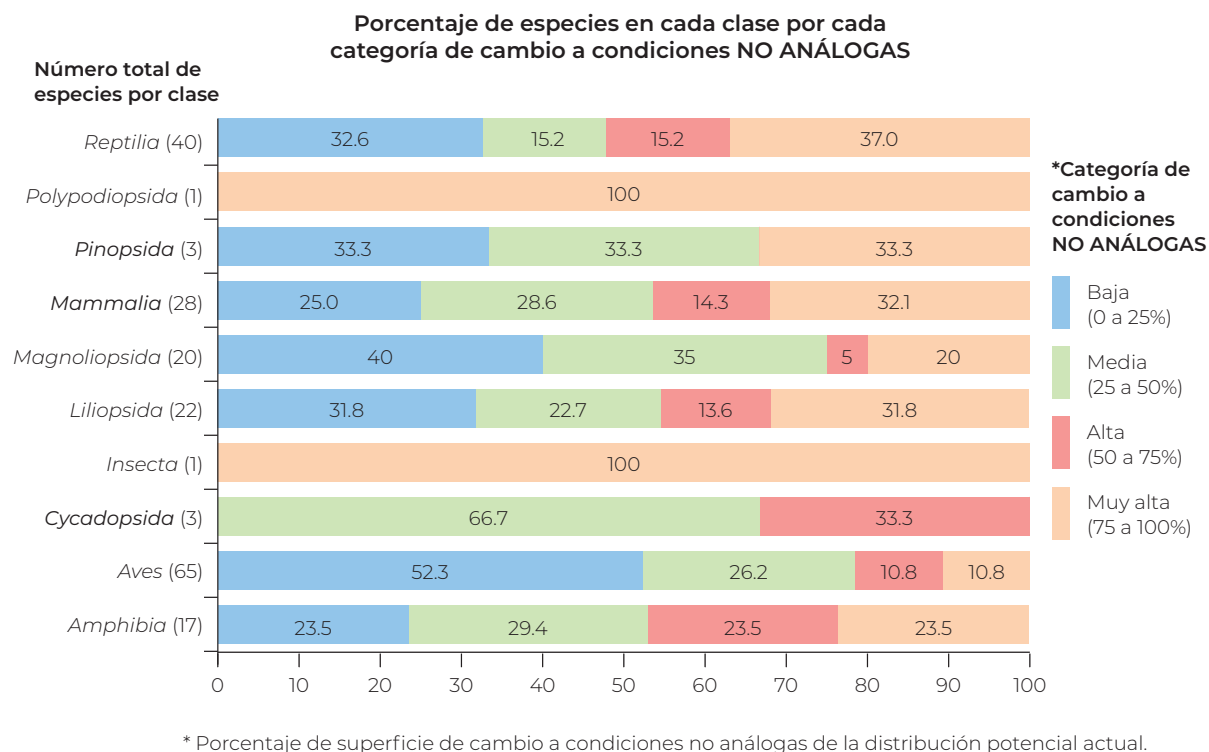


Figura 11.2. Porcentaje de especies agrupadas en condiciones no análogas por categoría de cambio.

acuerdo con los siguientes rangos: “Baja” (0-25%), “Media” (25-50%), “Alta” (50-75%) y “Muy alta” (75-100%). A cada clase se le asignó un valor de acuerdo con el orden de ranqueo (menor valor con menos proporción de cambio y mayor con más proporción de cambio): 0.1 a la clase “Baja”, 0.2 a la “Media”, 0.3 y 0.4 a las clases “Alta” y “Muy alta” respectivamente. Finalmente, el valor resultante para el criterio “condición de cambio de las especies” para cada ANP se obtuvo a partir de la sumatoria de las multiplicaciones del número de especies en cada clase por el valor de ranqueo correspondiente.

2. Proporción de cambio. Representa la proporción de la superficie total de cada ANP con condiciones climáticas no análogas por lo menos para una especie. Este indicador es el resultado de la relación de la superficie total con condiciones climáticas no análogas dentro de cada ANP dividida entre la superficie total de esa ANP.

Los criterios se integraron con base en un modelo multicriterio simple (Malczewski, 1999) sin ponderación (Figura 11.3). Los valores altos en este índice permiten identificar las ANP que contienen mayor número de especies con alto cambio a condiciones no análogas y que



Figura 11.3. Componentes del índice de cambio a condiciones no análogas de distribución potencial de las especies en las ANP.

ocupan una mayor área dentro de la ANP. En la **Figura 11.4** se muestra un mapa con los resultados de la evaluación del índice de cambio a

condiciones no análogas en las ANP de México. En las ANP del centro del país se observan los valores alto y muy alto, lo que indica un mayor



Figura 11.4. Índice de cambio a condiciones no análogas en la distribución potencial de las especies en las ANP de México

cambio a superficies no análogas y mayor número de especies en esta condición.

Referencias

DOF (2010). Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Norma Oficial Mexicana NOM-059. Recuperado de: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

DOF (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para

la conservación. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014

INECC-IB/UNAM (2017). Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático de la biodiversidad en México: el caso de las especies endémicas, prioritarias y en riesgo de extinción. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/295904/CGACC_2017_Propuesta_metodologica_para_evaluar_la_vulnerabilidad_actual_y_futura_ante_el_cambio_climatico_de_la_biodiversidad_en_Mexico.pdf

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. EE.UU, New York: Wiley & Sons.



▲ Ocelote. Fotografía de: Lucas / www.pixabay.com

Acrónimos

AEM	Agencia Espacial Mexicana
AGROASEMEX	AGROASEMEX, S.A.
CECADESU	Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable
CENAPRECE	Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DICONSA	DICONSA, S.A. de C.V.
FONATUR	Fondo Nacional de Fomento al Turismo
IMT	Instituto Mexicano del Transporte
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INAES	Instituto Nacional de la Economía Social
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
INMUJERES	Instituto Nacional de las Mujeres
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México

PROSPERA	Prospera Programa de Inclusión Social
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)
SALUD	Secretaría de Salud
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social, ahora Secretaría de Bienestar (BIENESTAR)
SEMAR	Secretaría de Marina
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SENASICA	Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
SENER	Secretaría de Energía
SEP	Secretaría de Educación Pública
SRE	Secretaría de Relaciones Exteriores
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público

Colaboración

Los productos de esta primera etapa del *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático* (ANVCC) se diseñaron y construyeron a través de la colaboración técnica con las siguientes instituciones: Coordinación General de Ganadería-Dirección General Adjunta de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)-Subdirección de Estudios de la Flora y Suelos con Fines Pecuarios de la ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). En el marco de este proceso continuo de construcción y actualización del ANVCC se espera la continuidad en la colaboración con estas instituciones, así como de la suma de otras.

Agradecimientos

El proceso de construcción del ANVCC contó con insumos generados en talleres y consultorías financiados con apoyo de los proyectos de la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y la Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México, ambos proyectos gestionados por PNUD-México.

Diseño iconográfico del ANVCC: Ricardo Cuenca Bejarano

